



TRABAJO FIN DE MÁSTER

INGENIERÍA DE LOS MATERIALES Y  
FABRICACIÓN

TÍTULO:

TERMOFORMADO DE  
GEOMETRÍAS  
COMPLEJAS

**Autor:** Erik Espinoza Correa

**Directores:** María Cruz Arzamendi

Luis M. Gandía

**Un agradecimiento especial a:**

**Débora, Mateo, Patricia y a la**

**Empresa JEMA.MC.**

## ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción	6
1.1	Tendencias y estimaciones mundiales	7
1.2	Estrategias e inversión empresarial	9
1.3	Objetivos del trabajo fin de master	11
1.4	Desarrollo del trabajo	11
2.	Termoformado	14
2.1	Situación actual del termoformado	15
2.2	El proceso de termoformado	17
2.3	La estación de termoformado	25
2.4	Termoformado de envases de geometrías complejas	33
3.	Antecedentes y estado del Arte	37
3.1	Antecedentes	38
3.2	Estado del arte	40
3.3	Análisis de la maquinaria existente en el mercado	40
3.4	Análisis de las investigaciones, material bibliográfico y búsqueda de patentes registradas	43
4.	Diseño del sistema de termoformado para obtener geometrías complejas	47
4.1	Selección del material polimérico	49
4.2	Diseño de la estación de precalentamiento	53
4.3	Diseño de la estación de termoformado	57

4.3.1	Molde de termoformado	59
4.3.2	Grupo de pistonaje	61
4.4	Condiciones de diseño	61
5.	Prototipo del sistema de termoformado de geometrías complejas	63
5.1.	Prototipo de máquina de termoformado	64
5.1.1	Estación de precalentamiento	65
5.1.2.	Control de la estación de precalentamiento	67
5.1.3.	Estación de termoformado	67
6.	Resultados y conclusiones	75
6.1	Resultados	77
6.2.	Conclusiones	79
	Bibliografía	80

**Capítulo 1:**

# **INTRODUCCIÓN**



## 1. Introducción

El presente trabajo: "Termoformado de geometrías complejas", supone una aportación técnica y de diseño en los envases de alimentos, basados en el termoformado de films poliméricos rígidos. Para su desarrollo se ha tenido en cuenta la previsión mundial de empleo de este tipo de envases especialmente utilizado el sector de lácteos así como la necesidad de la optimización de su diseño para que cumplan de manera integral con los objetivos del *Packaging* que de acuerdo a su definición como *"la ciencia, el arte y la tecnología de inclusión o protección de productos para la distribución, el almacenaje, la venta, y el empleo y que tiene como objetivo primario de atraer la atención de los clientes al ser la principal ventana de comunicación hacia el consumidor"*<sup>1</sup>, requiere actuar también sobre su aspecto formal. Así, este trabajo fin de master se plantea además de los aportes de naturaleza técnica, que el envase logre atraer la atención de los clientes, algo que a día de hoy las grandes compañías aún no optimizan

### 1.1. Tendencias y estimaciones mundiales

Para la aplicación práctica de este trabajo fin de master se tomó como antecedente el informe *Barrier Materials for Rigid packaging 2013-2017*<sup>2</sup>, realizado por diversas consultoras norteamericanas sobre materiales rígidos de barrera utilizados para el envasado de alimentos, considerando como un punto importante el impacto ambiental. Dicho informe proyecta la tendencia en el uso industrial de este tipo de materias primas entre los años 2013 al 2017 a nivel mundial, pero analizado por regiones según su desarrollo industrial. Hasta el año 2017, el estudio predice un crecimiento anual en el uso de este tipo de materiales del 4,7%. En términos económicos este sector alcanzó en 2012, una actividad industrial equivalente a un total de 95.000 millones de dólares, lo que conduce si se cumplen las estimaciones a en torno a 115.000 millones de dólares para el 2017. Este informe también analiza el comportamiento de este mercado en Europa y confirma, lo que va ocurriendo hasta la fecha, que casi la mitad de los negocios mundiales en este sector se realizan en el mercado europeo lo que en términos económicos supuso en 2012, 38.000 millones de euros. Estas cifras hacen de este sector un mercado atractivo sin lugar a duda.

Es interesante analizar gracias a este informe que después de casi tres años de expectativas cumplidas, en 2015 se han incorporado nuevos materiales en la fabricación de los films rígidos que anteceden al envase final. También se han producido importantes mejoras en las técnicas de fabricación lo que ha supuesto un mayor beneficio medioambiental, a la vez que máquinas de termoformado más rápidas y baratas, con mayor variedad de condiciones de operación, etc. No obstante hay que resaltar el poco interés que mantienen las grandes compañías, en ofertar productos finales que puedan ser diferenciable en el mercado por su aspecto o diseño formal. Resulta evidente la poca inversión que se ha tenido en el desarrollo en esta parte de la fabricación del packaging, esta deficiencia la apreciamos nosotros mismos cuando como consumidores finales acudimos a cualquier supermercado y observamos, por ejemplo, en la zona en donde se exponen los lácteos, en concreto los yogures, la poca innovación-inversión que se tiene en el diseño del envase, pareciendo, y en muchos casos ocurre así, que dos marcas distintas de yogurt han sido envasadas en la misma máquina, y aunque cumplen con la normativa y exigencias requerida para conservar el contenido, tienen en su diseño poco atractivo hacia el consumidor final tal y como se observa en la Figura 1.1



Figura 1.1 Geometrias convencionales de envases termoformados que encontramos en el mercado.

En el caso del mercado de los yogures, a pesar de esta tendencia, observamos que la marca DANONE buscan diferenciarse de sus competidores no solo en el contenido sino también con un envase diferente. Aunque los diseños siguen siendo muy básicos, se distinguen con respecto a otras marcas. Esta marca ha cambiado la geometría de su envase, cambiando la forma cilíndrica convencional a una más estilizada con bordes con mayor radio, logrando así diferenciarse sin que ello suponga un mayor gasto en la materia prima que da lugar a la fabricación del envase.





Figura 1.2 Fotografías de envases de distinto color, imagen y geometría.

## 1.2. Estrategias e inversión empresarial en este sector

Es importante añadir que para desarrollar el presente trabajo fin de master se consideró el grado de inversión que efectúan las empresas en innovación así como la disponibilidad de estas materias primas derivadas del petróleo y su variación de precio en el mercado. Aunque existen materiales alternativos todavía no son competitivos con los existentes con lo que se aplicará al estudio a los films rígidos convencionales. También, dado que en este trabajo se demuestra que es posible obtener geometrías complejas en envases termoformados sin necesidad de recurrir a procesos más caros como son los de inyección o soplado, este trabajo se va a dedicar exclusivamente al termoformado. Por una parte, se va a buscar darle el mayor grado de utilidad a la materia prima desde el punto de vista de diseño y mejora en el proceso de fabricación y por otra parte, se llevará a cabo un estudio de análisis y optimización de las materias primas así como en el consumo energético requerido para obtener el producto final.

La Figura 1.3 resume los resultados de una encuesta<sup>3</sup> realizada en la revista “Tecnología del plástico” en el año 2013 a empresas del sector de empaquetado donde se preguntó sobre distintas opciones para aumentar la productividad de las empresas. Se puede observar que un 62,5% de las compañías se ven motivadas a incluir en sus planes

estratégicos la inversión en nuevos equipos y tecnologías mientras que un 47,5% en diversificación y mejoras en calidad de productos ofrecidos.

En el caso que se analiza en este TFM, introducir un cambio en el diseño supondrá un cambio en los procesos productivos con un costo asociado. En la línea de la encuesta presentada en la Figura 1.3, parece factible una inversión que permitiría poder desarrollar propuestas como la que se presentan en este TFM.

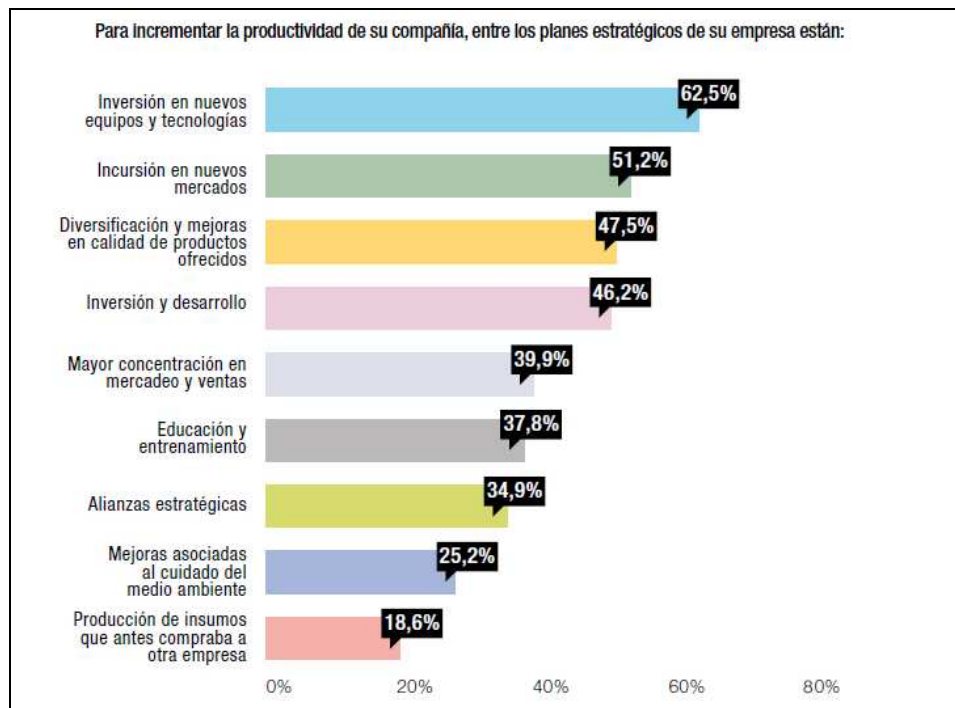


Figura 1.3. Encuesta a empresas del sector del empaque sobre inversión para aumentar su productividad. Tecnología del plástico (2013) <sup>3</sup>.

Además, los mercados, como en este caso, el de los envases obtenidos de films o láminas poliméricas rígidas tienen una tasa de crecimiento positivo dado a su fácil uso, bajo peso, buena resistencia. Teniendo en cuenta la inversión realizada por mi empresa en años anteriores y en la proyección a futuro que presenta ésta, considero que es viable proponer mejoras innovadoras en la fabricación de envases que permitan un diseño que sea más atractivo al consumidor y que a la vez, permita al industrial distinguirse de otros competidores.

### **1.3. Objetivos**

Los objetivos que proponen alcanzar en este TFM son:

- Proponer mejoras en el proceso de termoformado con el fin de optimizar la materia prima usada para obtener el envase. Usando los principios básicos del proceso mencionado más una serie de mecanismos, automatismos y mejora en el proceso en forma específica y global, con los que lograremos obtener envases de geometrías complejas que por las propias características del proceso no se alcanzarían en condiciones normales.
- Colaborar a la difusión de información técnica sobre opciones de mejora del proceso. Aunque existe información y literatura abundante sobre el proceso de termoformado existe muy poca información de uso libre sobre el tema que desarrollo por lo que considero mi propuesta de gran interés técnico para la Ingeniería de Materiales y Fabricación.

### **1.4. Estructura del trabajo**

Esta memoria se estructura de la siguiente forma: Tras este capítulo de introducción al interés y problemática asociada a los envases moldeados a partir de termoformado de films poliméricos rígidos, en el Capítulo 2 se presenta los fundamentos del termoformado como un proceso productivo completo, para a continuación centrarnos en la etapa o estación central del proceso de termoformado, que es en donde se da la forma al envase. En otras palabras nos ubicaremos en “sistema global” para poder explicar luego “el corazón o parte específica” en donde se logran estos envases de geometrías complejas. En esta estación central se cuenta con el molde así como los sistemas de pistonaje, soplado, etc, con todos los accesorios y sistemas necesarios para logra la pieza final.

Después de explicar el proceso y en especial la estación de termoformado del envase, en donde se centra este estudio, en el Capítulo 3 se hará una revisión del estado del arte de la técnica investigada que sirva de punto de partida para el desarrollo del presente trabajo.

En la Figura 1.4 se resumen las principales etapas en el desarrollo de materiales poliméricos y su aplicación al sector de envasado. Observando la línea del tiempo y los descubrimientos encontrados se puede ver que cada vez que se realizaba el

descubrimiento de un nuevo material polimérico, esto conllevaba a desarrollar nuevos procesos industriales de producción u optimizar los ya existentes. Disponer de un nuevo material abre un abanico de opciones y de nuevos envases, para los cuales se requieren a su vez procesos o bien más sofisticados o bien más sencillos. Este es precisamente uno de los planteamientos del presente trabajo, poder optimizar o adaptar el proceso de termoformado para obtener geometrías complejas en base a los ya existentes.

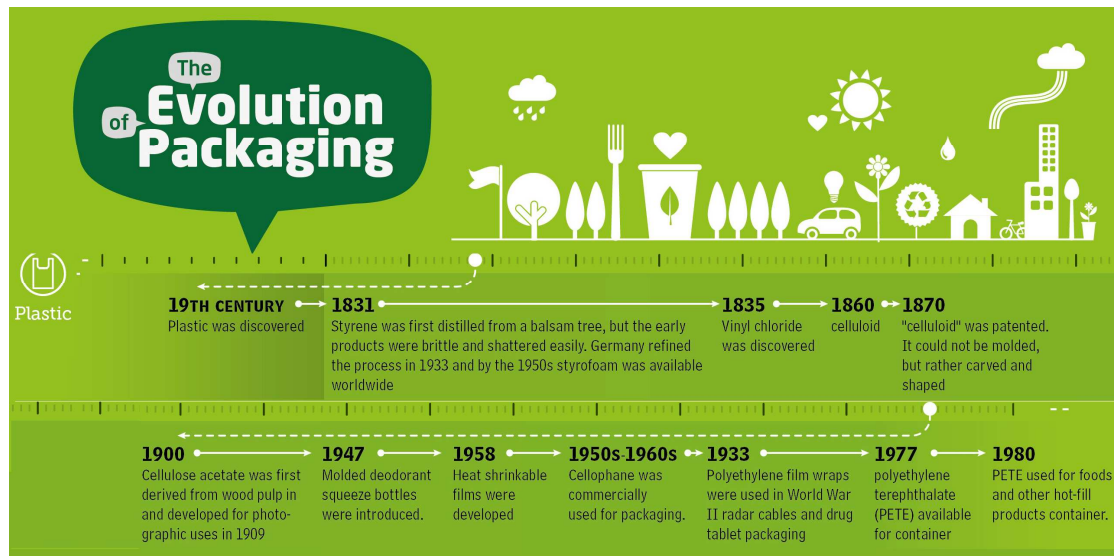


Figura 1.4 Evolución del Packaging usando el plástico. Fuente informativo de Tic's y Formación<sup>13</sup>.

En el Capítulo 4 se realizará el diseño del envase de geometría compleja, así como el diseño de la estación de termoformado necesaria para lograr dicho envase. Para ello tomaremos como ejemplo un envase desarrollado por un equipo de investigación en el que fui participe. Será necesario seleccionar el material adecuado o film rígido, para este tipo de envase teniendo presente sus características. A continuación diseñar su geometría y el protocolo de trabajo para que de una forma sincronizada y consecutiva se logre el resultado deseado. La parte del proceso en la que centraré el estudio, será en la estación de termoformado.

En el Capítulo 5 se describen las partes de este sistema aplicadas a un prototipo de máquina de termoformado, el proceso de funcionamiento y las consideraciones a tener para lograr como primer objetivo envases de geometrías complejas que por las propias características del proceso de termoformado no se lograrían en condiciones normales.

Quiero resaltar que los fabricantes de máquinas termoformadoras, en sus distintas marcas y procedencias, buscan siempre innovar y desarrollar nuevas tecnologías que satisfagan las exigencias del mercado y la normativa donde se desarrolle la actividad, un ejemplo es la empresa Multivack que diseña y fabrica máquinas termoformadoras de nueva generación<sup>14</sup> (Figura 1.5). En este capítulo deseo mostrar la variedad de maquinarias presentes en el mercado que pueden optimizar el producto final sin que esto signifique gastar más en materias primas.



Figura 1.5. Máquinas termoformadoras de nueva generación Multivack (Alemania).

Finalmente, en el Capítulo 6 se resumen los resultados más relevantes y se presentan las conclusiones alcanzadas tras este TFM.

Es importante resaltar que el presente TFM es fruto de un trabajo de investigación en el que participe y que fue realizado con inversión privada y que ha obtenido resultados importantes para la aplicación en la industria del envasado por lo que espero poder aportar de esta manera al desarrollo de la Ingeniería de los Materiales y Fabricación.

## **Capítulo 2:**

# **TERMOFORMADO**

## 2. Termoformado

### 2.1. Situación actual del termoformado

El proceso de termoformado ha experimentado una evolución muy importante paralela al desarrollo de nuevas tecnologías y paralelamente también al incremento de las exigencias de un mercado. Día a día se requiere cubrir más necesidades así como cumplir con normativas específicas dependiendo de la ubicación siendo unos más exigentes que otros: así el mercado europeo difiere en ciertos criterios de diseño y uso de materiales en relación a los usados en el mercado americano o asiático. Por ejemplo el uso de films rígidos de PVC como materia prima para fabricar envases son perfectamente aceptados en el mercado asiático pero sin embargo no aceptados en el mercado europeo por normativas medioambientales. Esto altera significativamente, los parámetros de operación usados en las máquinas de termoformado, por este motivo, hoy en día existen una gran variedad de máquinas de termoformado de distintas marcas comerciales que se adaptan a todo los procesos que la industria requiere. Así se puede disponer de una máquina que simplemente fabrique un envase de manera semiautomática o que con una sola máquina de termoformado además de termoformar automáticamente el film rígido de polímero, lo llene con el producto a comercializar, lo corte a medida, lo etiquete y empaque, dejándolo listo para su distribución (Figuras 2.1 y 2.2).



Figura 2.1. Pequeña termoformadora modelo TFS 80 de Ulma® (España).



Figura 2.2. Termoformadora automática modelo FS 950 diseñada para film rígido de Mecapack® (Francia).



Hoy en día esta tecnología de envasado por termoformado se aplica a áreas tan variadas como productos farmacéuticos, productos no alimentarios, y productos alimentarios, siendo un campo de aplicación tecnológica muy amplio dada las distintas versiones según la necesidad que se requiere cubrir, en el caso de este TFM se desarrollará en el área de los productos alimentarios en concreto en el envasado de productos lácteos.



Figura 2.3. Envases termoformados para productos farmacéuticos, alimentarios y otros.

En el envasado de productos alimentarios por termoformado se observa que productos que tradicionalmente se envasaban en enlatados metálicos o en botes de vidrio se empiezan a envasar en envases termoformados. En la Figura 2.4, se presenta a modo de ejemplo, productos alimentarios que antes tenían envases tradicionales y que actualmente se envasan en envases plásticos.



Figura 2.4. Envases de plástico que reemplazan a los envases de metal vidrio.



El desarrollo tecnológico del proceso y de las máquinas termoformadoras, permiten el empleo de nuevos materiales con propiedades barrera especiales que evitan que el producto envasado sea afectado por atmósferas no deseadas, o bien que puedan soportar procesos de esterilización proporcionando nuevas soluciones para un mercado que está en crecimiento. Es necesario estar preparado para nuevas aplicaciones desde su diseño tanto mecánica, química y estructuralmente, así como el aplicar el diseño para obtener estéticas innovadoras.

## 2.2. El proceso de termoformado

El término termoformado define un proceso en el que un film o lámina de un polímero termoplástico se calienta de manera controlada a temperaturas cercanas a la temperatura de transición vítrea del material para luego, con ayuda de un flujo de aire, de vacío, de manera mecánica e incluso con acciones combinadas se deforma la lámina plástica en una forma geométrica definida. Bajo esta deformación se enfría hasta temperatura ambiente, de tal manera que la forma lograda en tres dimensiones mantiene su forma en la temperatura de uso. Este proceso en la industria se lleva a cabo en continuo para lo que se requieren múltiples etapas de proceso llamadas estaciones. Estas estaciones se disponen de una manera consecutiva para lograr obtener el producto final de la manera más eficiente posible, tal y como se aprecia en la Figura 2.5.

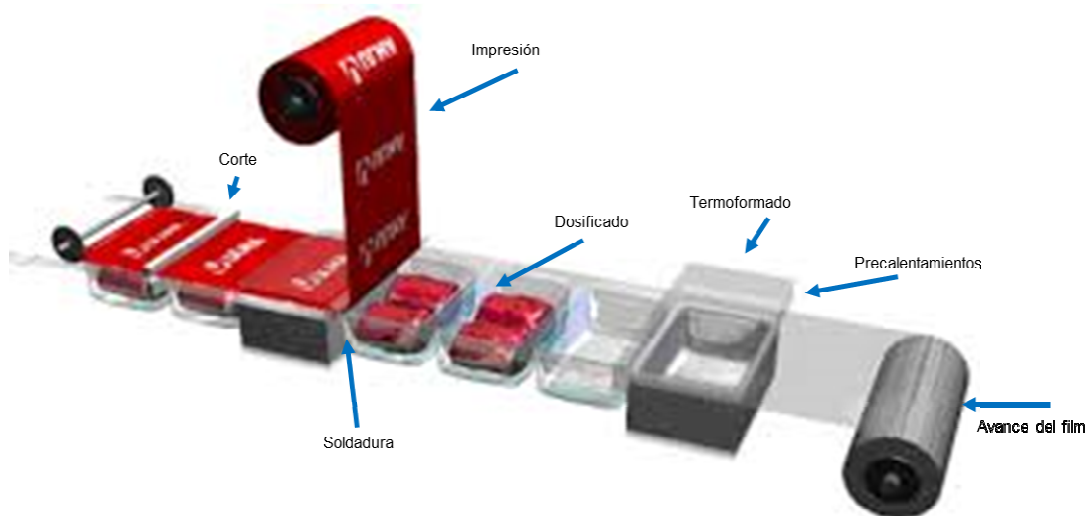


Figura 2.5. Esquema de estaciones de una máquina de termoformado Ulma®.

A continuación se describen las siete estaciones con las que cuenta este proceso de manera convencional:

### 2.2.1. Sistema de arrastre del film.

La función de este sistema es la de poder darle al film bobinado el movimiento sincronizado con el proceso del que se obtendrá el envase, desde que se desbobina en la parte inicial de la máquina llamada entrada de material en máquina. A continuación es sujeta por un sistema de cadenas o avance automático de arrastre servo-controlado. La Figura 2.6 recoge un detalle de este sistema, el film se ubica entre la placa que está inmediatamente sobre el muelle y la placa diente superior. Entre la gran variedad de film o láminas que existen, por sus dimensiones en ancho, largo y espesor, nosotros usaremos los llamados film o láminas rígidas que tienen un espesor entre 800 y 1500 micrómetros.

En este punto, es importante verificar que el film está montado en la posición correcta pues lleva una marca que define el lado en donde más adelante se debe soldar el material de tapa.



Figura 2.6. Fotografía de una cadena de arrastre de film fabricada por la marca alemana GPS REISACHER.

### 2.2.2. Estación de precalentamiento

Cuando el material polimérico es llevado por el sistema de arrastre a la estación de precalentamiento empieza el proceso térmico. En esta estación el film se calienta hasta que tenga la consistencia adecuada para que al pasar a la estación de termoformado pueda tomar la forma del envase. Aunque esta fase del proceso parezca sencilla es importante mencionar que ésta debe estar perfectamente controlada para lograr en el film la temperatura adecuada, superior a la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y cercana al punto de cristalización ( $T_m$ ), ambas temperaturas dependen del tipo de material. Antes de llegar el film al punto donde tendrá lugar el termoformado del envase, el film no debe estar muy caliente pues fluiría y se “descolgaría” perdiendo características químicas y físicas importantes para continuar el proceso, pero tampoco debe estar muy frío, pues en este caso, no se lograría la geometría deseada o tendríamos problemas con la distribución uniforme del polímero en el envase quitándole características estéticas y de resistencia mecánica. En el Capítulo 4 se explicará con mayor detalle cómo se logra el control de temperatura idóneo para el film en esta estación de precalentamiento. En la Figura 2.7 se puede observar como las placas de precalentamiento tanto superior como inferior no son planas si no poseen lóbulos con los que entrará en contacto el film de polímero. Hay que resaltar que está diseñado con un recubrimiento de teflon verde para evitar que el polímero se adhiera a las placas.

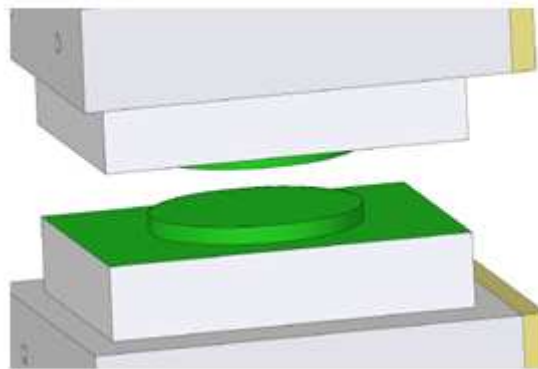


Figura 2.7. Dibujo de dos placas de termoformado, una superior y otra inferior, con sus lóbulos centrados para calentar solo la parte deseada de la lámina.

- a. Estación de termoformado: Esta estación es la parte más importante del proceso no solo porque en ésta es donde se forma de manera definida el envase, si no por la complejidad que representa pues en ella se realizan de manera coordinada los distintos accionamientos mecánicos, neumáticos, eléctricos, etc, que se ajustan de manera precisa para lograr el resultado requerido. De todo el proceso, esta estación será la que analizaremos de manera especial más adelante en este capítulo y en lo que respecta al prototipo para termoformar geometrías complejas lo desarrollaremos en el Capítulo 4, en la Figura 2.8 se presenta un molde para termoformar 18 envases por ciclo, se puede observar como salen los punzones del sistema de pistonaje. En el proceso de funcionamiento, éstos salen de forma controlada para dar la forma al envase.



Figura 2.8. Estación de termoformado, en la parte inferior, el molde del envase, y en la parte superior, el pistonaje.

- b. Estación de dosificación del producto a envasar: una vez formado el envase se procede a dosificar o llenarlo con el producto que se comercializará, pudiendo ser esto de manera manual al disponer de una zona adecuada de llenado o de forma automática mediante un sistema de robot. Cuando el producto es sólido existen sistemas para dosificar con sistemas de varios cabezales de multiplesaje que logran llenar el envase siempre con el mismo peso del producto (Figura 2.10). En el caso de los productos líquidos y/o viscosos se utiliza un dosificador volumétrico (Figura 2.9) que nos da una medida exacta del producto. En todo caso, existen alternativas para todos los casos de dosificación de productos en los envases termoformados.



Figura 2.9. Sistemas de dosificación de sólidos mediante cabezales de multiplesado



Figura 2.10. Sistema de dosificación de líquidos mediante dosificadores volumétricos.

- c. Estación de soldadura de material de tapa: cuando tenemos el producto ya dentro del envase termoformado queda aislarlo del medio exterior, para lo que se coloca, de forma general, una tapa que es soldada en el envase por medio de una placa caliente que funde las capas de contacto del envase con la tapa. La tapa se abastece al proceso en forma de bobina para luego de soldada ser arrastrada por el mismo sistema de arrastre de material y luego ser cortada junto con el envase termoformado que lleva el producto dentro. En esta estación es importante tener en cuenta tres parámetros: la temperatura, la presión de soldado y la sincronía de la tapa con el envase (esto en el caso que la tapa venga impresa lo que ocurre en la mayoría de veces).
- El parámetro de temperatura debe estar en el rango exacto, pues un exceso de temperatura puede quemar y dañar la zona de contacto resquebrajándola

y produciendo fugas en el proceso, en el transporte o en la comercialización; una baja temperatura genera una soldadura débil la que podría producir fugas. La temperatura dependerá del tipo de material usado pero por lo general está marcado por la temperatura del punto de transición vítrea ( $T_g$ ) si el material es amorfo o temperatura de fusión ( $T_m$ ) si el material es cristalino.

- El rango de presión de soldadura también es crítico pues por medio de éste se logra una unión uniforme en toda la superficie de contacto entre el envase y el material de tapa haciendo que la temperatura fusione ambas de manera uniforme. Una sobrepresión generaría un corte en los bordes de la unión soldada, esta rotura-corte se genera en el material de tapa, por ser el más delgado; una presión baja genera una soldadura no uniforme que muchas veces a simple vista no se identifica, por lo que en algunos casos se recurre a pruebas de estanqueidad en cámaras de vacío. La presión idónea dependerá del tipo de material y de sus espesores, por lo que se usa un regulador de presión exclusivo para esta estación.

Tan importante como las dos anteriores es la sincronía para soldar en su posición el material de tapa al envase, la gran mayoría de tapas están impresas y esta impresión debe coincidir con la forma del envase. Para esto se utiliza un detector electrónico que detecta la mácula negra impresa en el material de tapa que mediante un mecanismo de guiado y frenado sincroniza milimétricamente ambos materiales en el momento del soldado. En la Figura 2.11 podemos observar placas de precalentamiento que llevan teflón verde para evitar adherencia además pueden verse los lóbulos que es por donde se soldará el material de tapa con el envase ya dosificado.

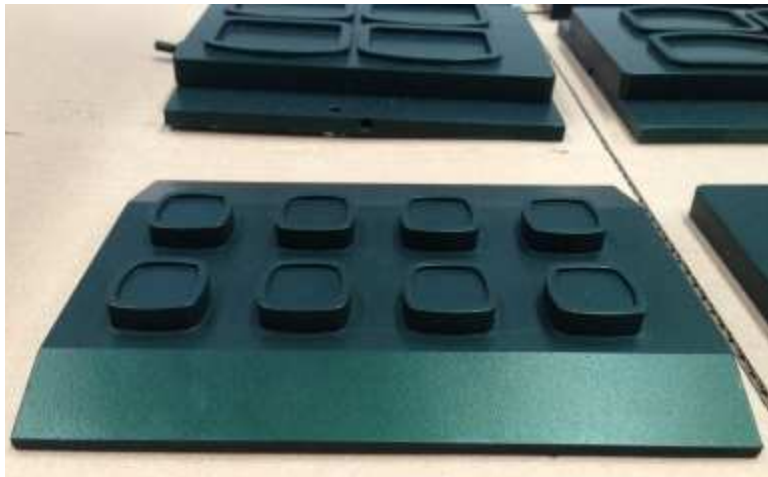


Figura 2.11. Placa de soldadura mecanizada con lóbulos que llevan un cordón perimetral.

- d. Estación de impresión, etiquetado, decoración y marcaje: En esta estación se ubican equipos o mecanismos que imprimen, etiquetan, decoran o marcan, tanto en el material de tapa como en el envase ya termoformado. Esta estación no tiene una finalidad funcional pues se usa para lograr identificar o simplemente mejorar la presentación del producto, la tecnología usada en esta estación es muy avanzada y por lo general es fabricada por compañías especializadas para luego ser integradas por el fabricante de la máquina de termoformado, como ejemplo tenemos las impresoras de tinta laser Dominó de origen inglés (Figura 2.11) o de la marca Image de origen francés.



Figura 2.11. Marcador laser marca DOMINO.



Figura 2.12. Etiquetadora de la marca Novamart.



- e. Estación de corte y precorte: Esta estación define la presentación final del producto de forma unitaria o en conjuntos o packs divisibles manualmente gracias a un precorte. El mecanismo fabricado para lograr cortar el envase requiere estar alineado y ajustado de forma precisa para lograr el resultado perfecto evitando aristas vivas. Existen distintos tipos de mecanismos para el corte y el precorte pero todos tienen en común los parámetros usados para lograr un resultado satisfactorio que son el tener ajustado el sistema con galgas, la presión de corte y la temperatura del envase. Una consideración importante es definir si el envase tendrá un corte con o sin desperdicio. En el caso del corte con desperdicio se debe tener un desahogo con la conicidad adecuada para evitar atascos muy perjudiciales para sistema de corte. En la Figura 2.13 se puede observar una estación de este tipo.



Figura 2.13. Estación de corte por troquel con temperatura controlada de la marca PFS montada en una máquina de termoformado.



### 2.3. La estación de termoformado

Podríamos decir que el corazón de la máquina termoformadora es la estación de termoformado propiamente dicha y su importancia viene por la complejidad tecnológica y del número de procesos que hay que considerar hasta lograr un envase con las dimensiones y características requeridas. Es en esta estación donde la lámina de polímero se calienta por encima de la temperatura de transición vítrea, para el caso de polímeros amorfos, y próxima al punto de fusión, para los materiales semi-cristalinos. Lo que nos da con los polímeros amorfos un rango más amplio de temperaturas de operación.

La Tabla 2.1 recoge, para los materiales usados más habitualmente en envases termoformados, las relaciones entre el estiramiento máximo que se puede alcanzar al someter al polímero en un intervalo de temperatura característico.

Tabla 2.1 Temperatura de termoformado y relaciones de deformación de films termoplásticos convencionales.

Polymer	Forming Temp. (°C)	Maximum Areal Draw Ratio
Polystyrene	150–190	8:1
High-Impact Polystyrene	160–205	8:1
ABS	150–205	10:1
Modified polyphenylene oxide	160–220	6:1
Oriented polystyrene	125–160	5:1
Polymethyl methacrylate	150–205	12:1
Polymethyl methacrylate/ unplasticized polyvinyl chloride blend	150–190	8:1
Flexible or plasticized polyvinyl chloride	110–150	10:1
Rigid or unplasticized polyvinyl chloride	120–175	6:1
Low-density polyethylene	125–175	6:1
High-density polyethylene	140–190	8:1
Polypropylene	140–165	6:1
Ethylene-modified vinyl acetate	135–175	8:1
Polycarbonate	175–230	8:1
Amorphous polyethylene terephthalate	125–165	6:1
Polystyrene Foam	90–120	2:1
Crosslinked polyethylene Foam	150–205	4:1

Para determinar la temperatura de operación con más precisión se debe conocer el espesor del film, que hace aumentar la temperatura requerida. También si el envase tiene características especiales como puede ser la de un material multicapa o de un diseño complejo pueden modificarse estos valores.

Las características y componentes de la estación de termoformado la determinan la complejidad del envase que se quiere obtener para ello tenemos distintos tipos de termoformado que pueden trabajar de forma independiente o en conjunto. Esto lo determinan las diferentes variables involucradas en el proceso de termoformado como son:

- La temperatura de la lámina, la que se origina en la estación de precalentamientos e intervienen en ella el tiempo de cierre precalentamiento, presión de cierre precalentamiento, superficie de contacto, la refrigeración controlada del molde.
- El tipo de geometría del envase, el acabado superficial del molde, el coeficiente de rozamiento del material polimérico.
- La geometría de punzón, velocidad y longitud de desplazamiento de punzón.
- La presión y caudal del aire de soplado, entre otras.

Es difícil determinar y dejar definido un parámetro específico para estudiar su efecto, ya que en la mayoría de los casos, un solo parámetro puede alterar otro, por lo que al tener tantas variables en el proceso de termoformado y para lograr este tipo de geometrías se ve necesaria la utilización de distintos mecanismos o sistemas que se agrupan para obtener una estación compleja pero eficiente, a continuación describiremos las distintas formas de lograr termoformar un envase y como aprovechar sus cualidades para obtener un sistema de termoformado de geometrías complejas:

- a. En una sola etapa: En este tipo de termoformado solo interviene una estación o dicho de otra forma se termoforma en una sola etapa, es decir el film polimérico se calienta se le da la forma y se enfría en la misma estación logrando así el envase en una sola operación. Algunos de los primeros productos termoformados se produjeron usando la formación de un solo paso.

- b. Por adaptación: Tiene lugar en varias etapas tal y como se puede observar en la Figura 2.14. Tras calentar la lámina (i), ésta se desplaza verticalmente hacia abajo sobre un molde macho (ii), de esta manera se logra que la lámina se adapte a la forma del molde. También puede darse el caso de que sea el molde macho el que se desplace hacia arriba dejando la lámina fija. A continuación, se necesita un vacío entre la lámina y el molde para que pueda tomar la forma completamente (iii). Con este proceso se obtienen envases con un espesor grande en el fondo que va disminuyendo hasta ser mínimo en los bordes.

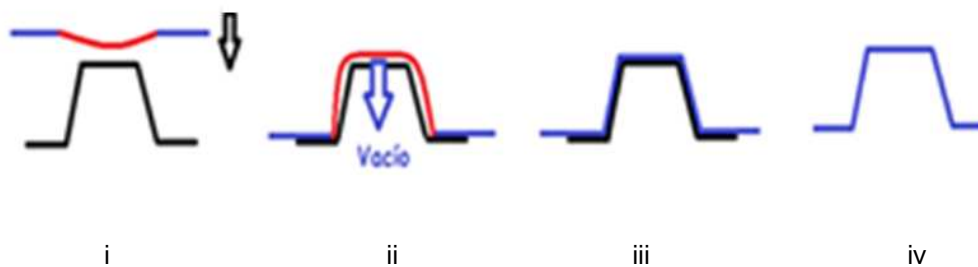


Figura 2.14 Termoformado por adaptación.

- c. Por vacío: En este tipo de termoformado la lámina tras el calentamiento de la lámina, ésta se coloca sobre el borde del molde hembra de termoformado. Inmediatamente se hace vacío entre el molde y la lámina logrando así el envase deseado (Figura 2.15). Esta técnica presenta como inconveniente que el espesor de la pieza es mayor en los bordes y mínimo en los cantos de la parte inferior, es decir sucede lo contrario que en el termoformado por adaptación.

Este termoformado se usa para piezas de gran tamaño, de bajo volumen y se logra un precio bajo por envase sin usar grandes piezas, ni equipos y/o herramientas sofisticadas. Este tipo de termoformado es uno de los más difundidos para las grandes tiradas productivas por su baja necesidad de inversión en mantenimiento y modificación de moldes.

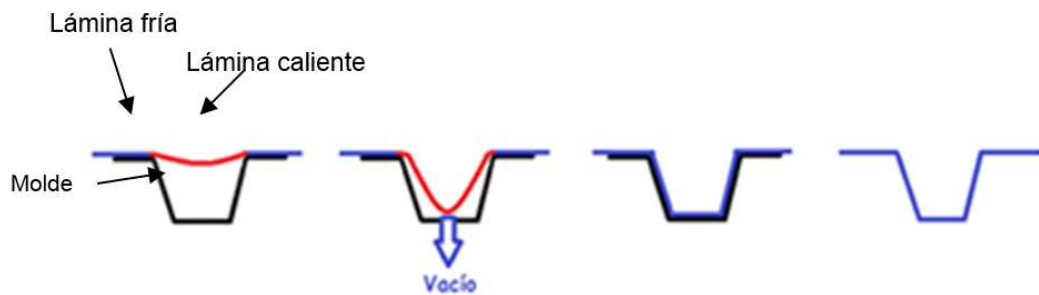


Figura 2.15 Termoformado por vacío.

- d. A presión: La lámina caliente se fija sobre el borde del molde hembra haciendo luego el vacío entre el molde y la lámina, inmediatamente casi en simultáneo se aplica presión de aire mediante la campana a la cara superior de la lámina tal y como se ve en la Figura 2.16. Es necesario que antes de quitar el envase del molde, este envase enfríe muy poco en el mismo molde para que acabe el conformado (iii). Este procedimiento se utiliza para conformar láminas de pequeño espesor de polipropileno (PP) que se suministra en rollos. También para transformar láminas de gran espesor en piezas con un detalle superficial fino.

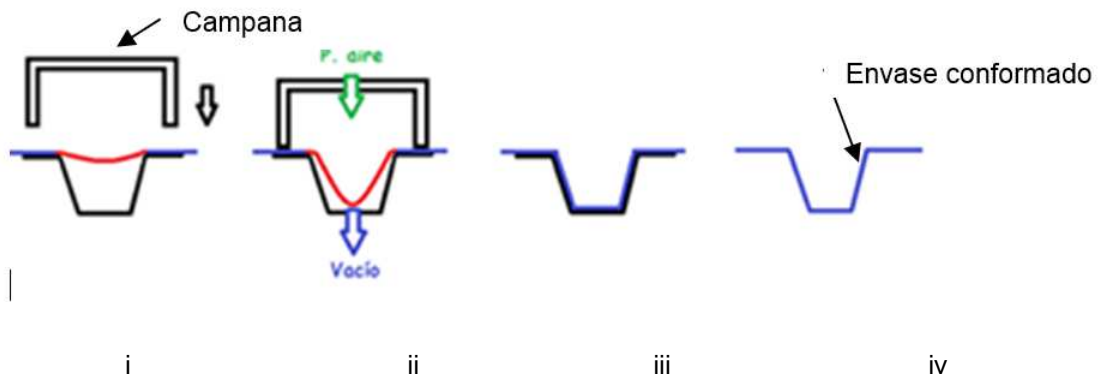


Figura 2.16. Termoformado por presión.

- e. Por soplado o libre: En este caso no existe molde de termoformado. Se pone la lámina, calentada previamente, encima de un soporte - cámara y se aplica aire comprimido entre la cámara que sustituye al molde y la lámina caliente, llegando a obtener una burbuja, cuya altura se controla mediante una fotocélula, tal y como se puede observar en la Figura 2.17. Dado que la burbuja formada de la lámina no toca ningún elemento metálico, no tiene ninguna marca y excepto en las cercanías al marco de fijación, se logra de esta manera un espesor homogéneo. El mismo

aire a presión enfría la burbuja y la termina de conformar dándole la rigidez final. Este sistema se usa extensamente en envases tipo “blister” (ampolla) a partir de una lámina delgada.

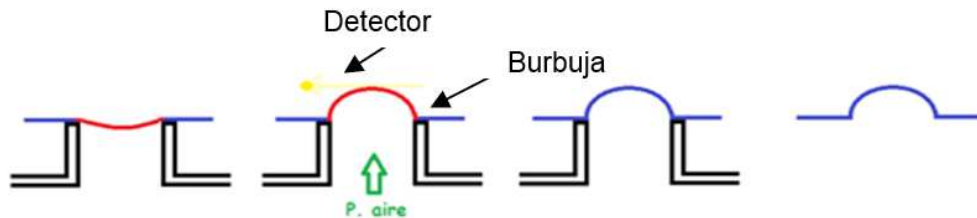


Figura 2.17. Secuencia del termoformado por libre soplado.

- f. Por acción de un molde y un contramolde: Utilizados para conformar piezas a partir de polímeros relativamente rígidos, como el poliestireno expandido (EPS). La lámina caliente se posiciona entre el molde hembra (inferior) y contramolde o molde macho (superior), el molde y contramolde deben tener pequeños orificios de salida o aireación para evitar que se generen presiones a causa del aire que está dentro de los moldes. En algunas situaciones se puede aplicar vacío entre la lámina y el molde hembra / macho, tal como lo indica la Figura 2.18 (ii). En la tercera etapa (iii) los molde hembra / macho permanecen cerrados para lograr conformar el envase.

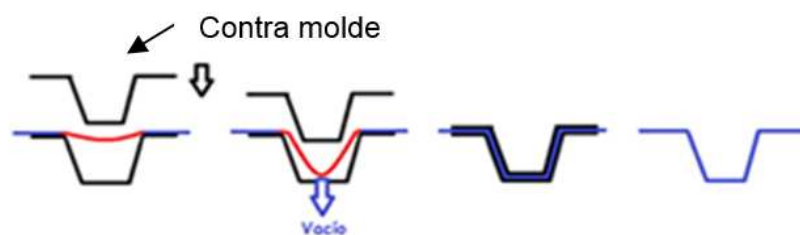


Figura 2.18. Termoformado por molde y contramolde.

- g. Por estirado de burbuja: Esta forma de termoformar pone la lámina caliente sobre la cámara inferior, formándose la burbuja por acción de la presión de aire aplicada desde la cámara inferior, seguidamente desciende el molde macho, al cerrar sobre

los bordes de la lámina, se aplica vacío entre la cámara superior y la lámina e inmediatamente, casi en simultáneo, una presión de aire desde la cámara inferior.

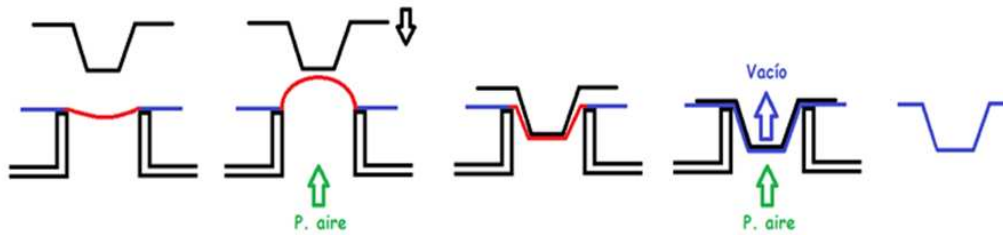


Figura 2.19. Termoformado por estirado de burbuja.

- h. Por vacío con respaldo: Es una variedad del termoformado por deformado de la burbuja solo que en este caso de modo inverso, es decir, la burbuja se forma mediante vacío entre la lámina caliente y la cámara inferior. El molde macho descende y completa el conformado, haciendo el vacío entre el macho y la lámina terminando al aplicar una presión de aire entre ésta y la cámara.

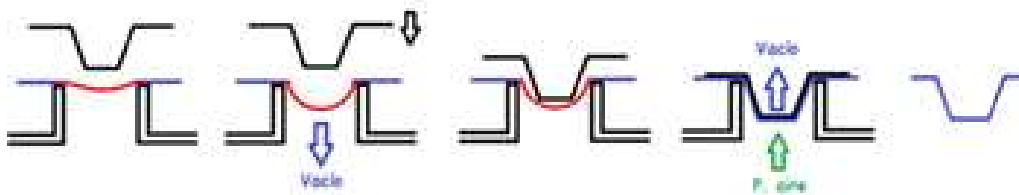


Figura 2.21. Termoformado de vacío con respaldo.

- i. Termoformado de vacío con burbuja: Se posiciona la lámina caliente sobre el molde hembra, se aplica presión de aire entre el molde y la cara inferior de la lámina lo que genera una burbuja, es cuando rápidamente se hace el vacío entre la lámina y el molde inferior terminando de conformar el nuevo envase.

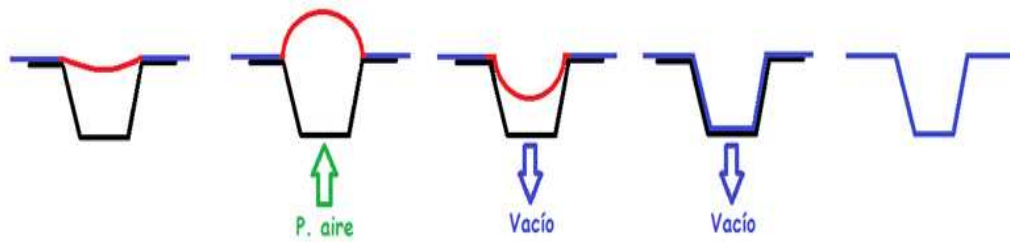


Figura 2.20. Termoformado de vacío con burbuja.

- j. Con vacío y asistido con pistón: Se posiciona la lámina caliente sobre el molde hembra, un pistón de geometría adecuada, lo que significa que no tiene que tener la geometría del envase (macho), se desplaza verticalmente hacia abajo, desplazando la lámina hasta tocar el fondo de molde, en ese momento se aplica vacío desde el fondo del molde lo que succiona el material, de esta forma se logra un espesor uniforme en el fondo y en sus aristas. En la Figura 2.21 podemos observar que la punta del pistón es esférica para poder distribuir el espesor del material de manera uniforme dentro del molde para que luego el vacío le dé la geometría y acabado final.

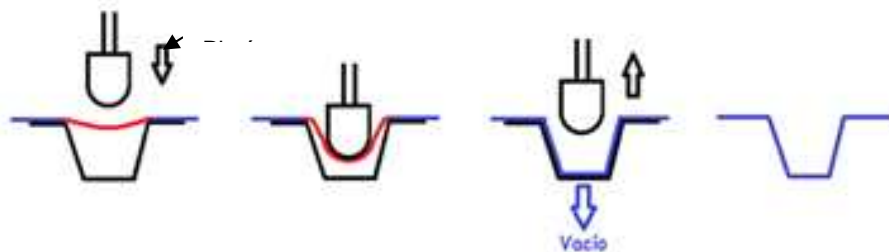


Figura 2.21. Termoformado con vacío y asistido con pistón.

- k. Termoformado por presión asistida por pistón: Para este tipo de termoformado se posiciona la lámina caliente sobre el molde hembra (molde inferior), la campana (cámara superior) se desplaza verticalmente hasta cerrar herméticamente con la lámina, seguidamente un pistón, de geometría calculada, se desplaza hacia abajo empujando la lámina hasta tocar el fondo de molde, en ese momento se aplica vacío desde el molde succionando el material y a la vez se aplica presión de aire

desde la campana. Con este proceso se asegura un espesor uniforme en el fondo y sus aristas.

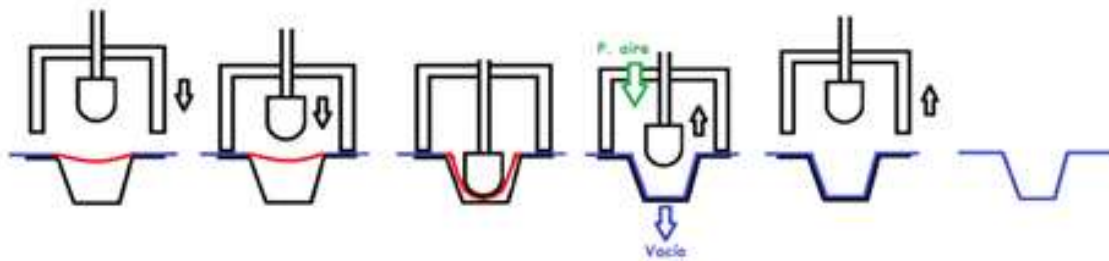


Figura 2.22. Termoformado por presión y asistido con pistón.

- I. Por presión asistida por pistón con estirado inverso: Es una variante del proceso anterior de termoformado por presión asistido por pistón al que se le añade una formación de burbuja superior por presión desde el molde inferior inflando la burbuja hasta que ésta toca al pistón que desciende entonces hasta el contacto con el molde hembra con la aplicación de presión de aire por el superior y vacío por el inferior.

Este proceso mezcla muchas opciones vistas anteriormente, logrando una distribución muy buena del espesor de la lámina en todo el envase. El acabado final es mucho mejor además de mejorar sus cualidades de resistencia mecánica del envase. Este tipo de termoformado nos ofrece un proceso complejo y eficiente con el que se pueden lograr geometrías complejas de envases.

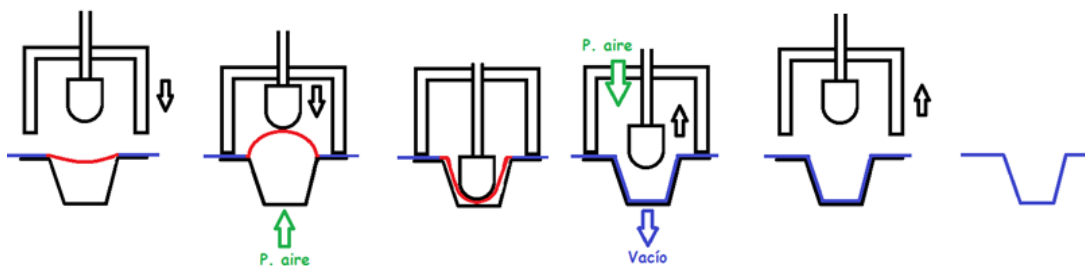


Figura 2.23. Termoformado por presión y asistido con pistón con estirado inverso.

- m. Termoformado con burbuja asistido por pistón: Es una variación del termoformado por presión asistido con pistón con estirado inverso descrito en el punto anterior (I),



pero en este caso se prescinde de la cámara superior generándose la burbuja hasta que toque al pistón.

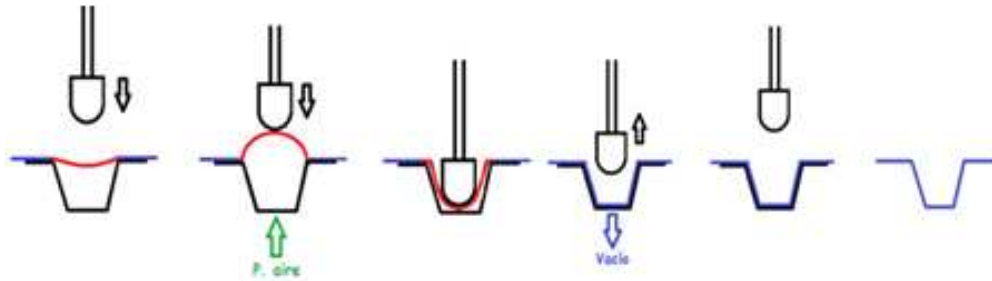


Figura 2.24 Termoformado por burbuja asistido con pistón.

- n. Por lámina apoyada: En este tipo de termoformado se posiciona la lámina sin calentar dentro de una cavidad, sobre una placa perforada y con temperatura controlada que será la que caliente la lámina, al alcanzar la temperatura de moldeo el molde hembra se desplaza verticalmente hacia abajo hasta obtener el cierre hermético. Seguidamente se aplica presión de aire por intermedio de las perforaciones de la placa hasta conformar la lámina según el molde. Este tipo de termoformado logra resultados aceptables en la geometría, pero no es muy práctico para usos industriales que requieran una cantidad de envases por minuto alta.

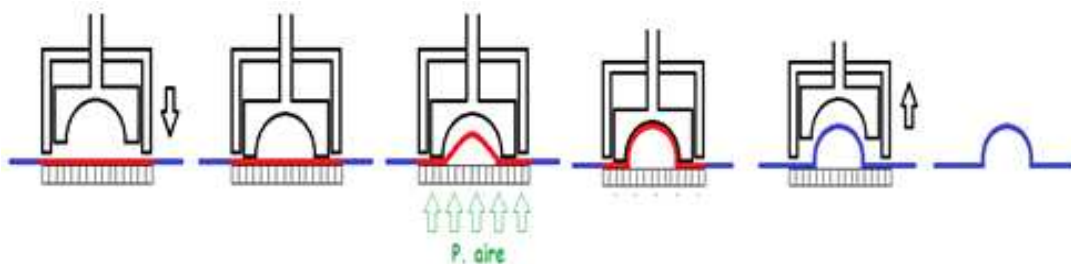


Figura 2.25. Termoformado por lámina apoyada.

## 2.4. Termoformado de envases de geometrías complejas

La estación de termoformado es el corazón de este proceso, por eso en el punto anterior se han descrito los distintos tipos de termoformado orientados al tipo de envase

que queramos obtener: por ejemplo si queremos termoformar un envase para conservar una pizza fresca nos basta con el termoformado de vacío con burbuja (i) pues al ser la lámina semirrígida y de gran área con poca profundidad de envase cumple con la características para lograr un envase adecuado, pero por el contrario si queremos con esta misma maquina lograr una geometría compleja de mayor profundidad no serviría a nuestro cometido, es por ello que surge la pregunta:

### ¿Cómo termoformar envases de geometrías complejas?

Para obtener un envase de geometría compleja necesitaríamos contar con toda la ayuda mecánica, neumática y de vacío perfectamente enlazadas y sincronizadas y con ello lograr que la lámina caliente pueda tomar la forma que deseemos de manera homogénea que nos pueda dar un acabado atractivo a la vista del cliente, pero quedaría un inconveniente por resolver, pues aunque pudiéramos lograr formar el envase perfecto un detalle muy importante en el termoformado es la etapa de **desmolde del envase**. Esta etapa ocurre al final de la fase de termoformado, es cuando el envase sale del molde que le da forma (se desmolda) y continua hacia la siguiente estación, generalmente la de dosificación del producto. Por regla general para desmoldar el envase se cuenta al diseñar el molde con un ángulo de desmolde lo que le da conicidad hacia la zona de extracción del envase permitiendo que éste salga sin problemas del molde y pueda continuar el proceso automático sin interrupciones. En la Figura 2.26 podemos observar en su geometría externa un ángulo que da la conicidad necesaria para que pueda salir sin problemas del molde de termoformado.

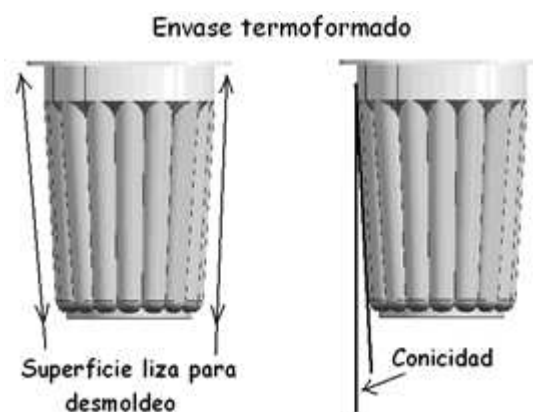


Figura 2.26. Detalle de los envases para su desmoldeo<sup>15</sup>.

Cuando la geometría que se quiere lograr es compleja tanto que no permite tener ángulo de desmolde para el envase se diseñan moldes de termoformado de apertura total o parcial los cuales pueden ser por medio de desplazamientos verticales o laterales, además dependiendo de lo que queramos lograr se puede incluso tener desplazamiento de mecanismos dentro de las cavidades internas del molde, todo esto sin sacrificar el acabado estético de la cara visible del envase.

Existe un detalle en estos sistemas de moldes de termoformado con apertura, pues generan en el envase termoformado una marca en la línea de unión de apertura y/o cierre del molde, a la que se le llama línea de desmolde. Esta línea se puede minimizar según el acabado que se le dé al molde. En la Figura 2.27 se puede observar un diseño de envase donde se aprecia la falta de conicidad adecuada para el desmolde. Esto implicará tener un molde abierto.



Figura 2.27 Diseño de envase con falta de conicidad de desmolde.

Con este TFM espero mostrar lo importante de aplicar estas tecnologías en este tipo de procesos, esto nos abrirá un gran número de opciones y alternativas de nuevos envases distintos a los convencionales dejando a la creatividad e innovación de los diseñadores un abanico amplio que de impulso a productos ya existentes o la manera de introducir al mercado un producto diferenciable a los de su competencia. La Figura 2.28 muestra el diseño no-convencional sobre el que se trabajará a lo largo de esta memoria.



Figura 2.28. Diseño en espiral de envase termoformado de geometría compleja<sup>15</sup>.

## **Capítulo 3**

# **Antecedentes y estado del arte**

### 3. Antecedentes y estado del arte

#### 3.1. Antecedentes

Debido a la tendencia en alza en lo que se refiere a inversión económica en la industria del packaging en los próximos años, se nota un incremento en el número de fabricantes de maquinaria de termoformado tanto en nuevas empresas como en mejoras y crecimiento en empresas ya existentes, un ejemplo es lo que ocurrió con la empresa Erca Oystar Ibérica que el año 2014 creció un 40% <sup>5</sup>, esta mejora global incluye además al grado de innovación que presentan progresivamente en los últimos años. La gran mayoría de fabricantes trabaja con maquinaria hecha a medida, es decir, que el cliente le plantea el tipo de envase que quiere que produzca su máquina, es un caso especial respecto a en este área de la industria en la que al parecer no se considera la preferencia del consumidor final, esto ocurre sobre todo por el factor económico pues un proceso de termoformado para geometrías complejas puede ser un poco más costoso, sin embargo, considerando que dentro de la inversión para un producto que se quiera lanzar al mercado se estima que el porcentaje de una máquina de termoformado es de solo el 12,5% y es sabido que uno de los insumos que más costo tiene es el de la lámina de termoformado como materia prima usada para el envase se estima en un costo de hasta el 24% <sup>4</sup>, sería una buena alternativa que un producto nuevo para ganar cuota de mercado lance su producto con un envase diferente, atractivo al consumidor y si se plantea de manera adecuada el tipo de producto hacia nuevos mercados de consumo.

Es importante anotar que llegado el momento en el que este tipo de termoformado se generalice, los costos de fabricación de los mecanismos se reducirían.

Un pequeño porcentaje de los envases termoformados industrialmente son de geometría compleja, pues la gran cantidad de productos son envasados en geometrías convencionales, se estima que en Europa menos del 1 % del volumen total de los envases que se comercializan en el área de los lácteos son de geometrías complejas <sup>6</sup>.

En lo que se refiere a antecedentes técnicos he analizado distintos modelos de máquinas termoformadoras de distintos fabricantes y procedencias, cada uno de ellos tiene técnicamente su punto fuerte debido a la innovación que realizan en el diseño de la máquina (de estos detalles hablaremos en el punto de estado del arte de la técnica) solo quiero añadir que la realidad actual es que se comercializa una mínima cantidad de

estos envases de geometría compleja, muy poco con respecto al volumen global de envases termoformados y contra esta circunstancia es que los fabricantes de termoformadoras están en constante innovación, pues si la tecnología estuviera desarrollada lo suficiente para ofrecer a un precio competitivo una máquina de la que se pueda obtener este tipo de envases, sería sin duda una buena opción a la que los compradores de maquinaria se inclinarían.

La Figura 3.1 recoge logotipos de los fabricantes de máquinas termoformadoras. Existen por todo el mundo más de 30 compañías y muchas son de origen europeo.



Figura 3.1. Logotipos de las distintas marcas de fabricantes de termoformadoras.

### **3.2. Estado del arte**

El conocimiento de la disponibilidad de máquinas y procesos existente en el mercado, es fundamental para el desarrollo de mi proyecto y presente TFM. El análisis se ha realizado organizándolo en torno a dos puntos:

- Análisis de la maquinaria existente en el mercado.
- Análisis de las investigaciones y material bibliográfico así como búsqueda de Patentes y registros referentes a este tema.

### **3.3. Análisis de la maquinaria existente en el mercado**

Debido a mi ejercicio profesional, he tenido la oportunidad de poder analizar de manera directa 20 tipos de máquinas termoformadoras de 12 fabricantes distintos como son: Multivack, Mobepack, Ulma, Arcil, Mecapack, Erca Oystar, Beta Pack, Halfa, Zhonya, Dairy Pack, Bisignano y Elton. En cada modelo de máquina he podido observar y tomar nota de las singularidades de cada una de ellas. En la mayoría de los casos se ha dispuesto de observaciones de gran utilidad para el desarrollo técnico de este trabajo.

A continuación describiré dos modelos de máquinas que por su tecnología y sistemas usados son el antecedente del presente trabajo:

**Modelo M-F14 de la marca OYSTAR-Erca:** Esta máquina de nueva generación, es compacta lo que permite ahorrar hasta un 50% de espacio útil productivo comparando con sus equivalentes en otras marcas.

Está diseñada para termoformar envases con un formato útil de 310 mm de ancho pudiendo termoformar hasta una profundidad máxima de 70 mm. Su velocidad de funcionamiento es de 25 a 30 ciclos por minuto, lo que supone que para packs de 2x6 vasos podría producir 21600 vasos por hora. Es importante indicar que las unidades motrices son servocontroladas y ofrecen una precisión y un gran ahorro de energía. Además presenta un fácil mantenimiento y limpieza.



La diferencia de esta máquina con otras máquinas de su categoría es su control y operación sencilla. Es tan fácil su manejo que no necesita interfaz operario-máquina; gracias a un PLC y unos sistemas de control que están perfectamente ajustados, solo necesita de un botón de marcha y otro de parada. A modo de ejemplo, después de una puesta en marcha rápida (OYSTAR ofrece ponerla en marcha en 3 días) al operario solo le queda darle al botón de marcha y para terminar la producción igual solo basta con darle el botón de parada<sup>12</sup>.

Este último punto es el que se aplicara a nuestro proceso de termoformado de geometrías complejas pues al tratarse de un proceso complejo este sistema de control interface operario - máquina es práctico y de gran ayuda para controlar de manera perfecta este proceso.

En la Figura 3.2 se puede observar las dimensiones de la máquina termoformadora modelo M-F 14 de la marca CYSTAR Erca.

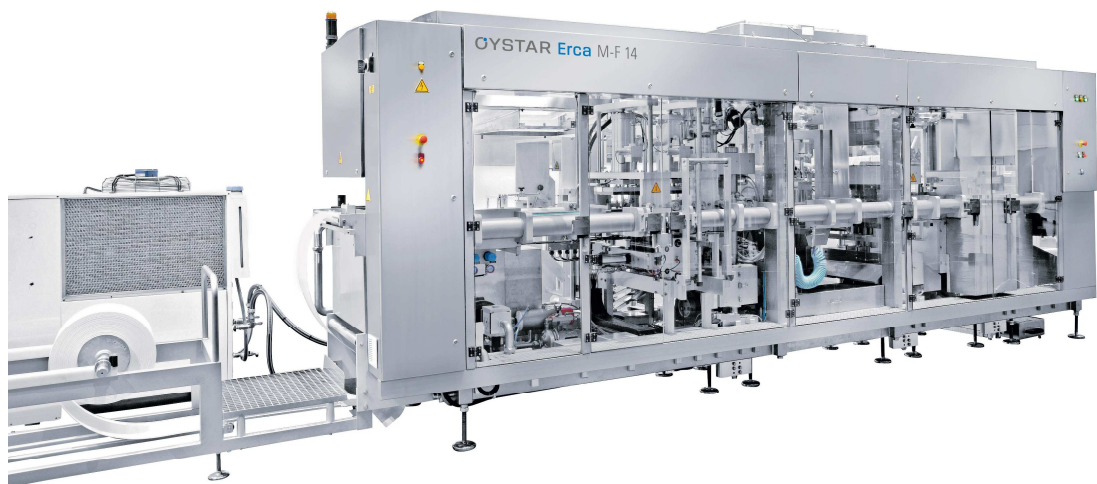


Figura 3.2. Vemos una máquina termoformadora modelo M-F 14 de la marca CYSTAR Erca.

La marca OYSTAR – Erca, no cuenta con un modelo comercial de maquinaria que termoforme envases de geometría especial, pero sí que es ofertado el desarrollo de este tipo de envases según el requerimiento de sus clientes.

**TFE 700 de la marca ULMA:** tiene un diseño que puede trabajar con láminas poliméricas flexibles o rígidas. Para el envasado de alimentos tiene la opción de envasar

a atmosfera modificada (MAP). De entre las máquinas que fabrica ULMA este modelo es el que da mayores prestaciones.

Sus principales características son el fácil cambio de formatos tanto en las estaciones de termoformado como en el corte – precorte, construcción modular que le da versatilidad al poder contar con distintos tipos de formatos según la necesidad del cliente, un sistema de control potente e intuitivo, algo necesario en maquinaria que tiene la opción de cambios de formato, tiene otras características añadidas pero lo que aporta a mi proyecto es el fácil sistema de cambio de moldes así como la opción de control y manejo de estos cambios de formato<sup>11</sup>.

En esta máquina es destacable la facilidad para el cambio de formatos y moldes.



Figura 3.3. Máquina termoformadora modelo TFE 700 de la marca ULMA.

Es importante comentar que no he visto en mi experiencia una máquina termoformadora de geometrías complejas por lo que de todas las otras marcas de maquinaria con las que he tenido contacto han aportado a mi proyecto de manera indirecta pues lleva cada cual su sello personal en sus sistemas y estaciones las que aportaron ideas mediante sinergias que logran que pueda desarrollar y exponer ahora mi proyecto en el presente trabajo fin de master.

### **3.4. Análisis de las investigaciones, material bibliográfico y búsqueda de Registros de patentes referentes a este tema.**

El análisis desarrollado sobre la bibliografía e investigaciones a las que he tenido acceso me han servido para identificar la información que sería de mi interés para el presente trabajo añadido a esto tengo las búsquedas de registros de patentes hechas tanto en ESPACENET como en INVENES donde se logró identificar más de 500 registros de los cuales he seleccionado los referentes a estaciones de termoformado, que es la información que me interesa, teniendo en los registros más recientes la información más importante para el desarrollo de mi trabajo, de lo descrito anteriormente logre resumir lo que expongo en el desarrollo de este capítulo.

El proceso de termoformado más conveniente para desarrollar este envase de geometría compleja es el de la estación de termoformado que use el sistema de molde abierto, por lo que la descripción que hago a continuación es para explicar las variaciones que tiene este sistema y porque elijo una de ellas como la más adecuada. A continuación explicare brevemente tres tipos de termoformado por molde abierto.

- a) Termoformado con apertura en vertical del molde: Este tipo de termoformado se basa en el criterio de diseño de abrir el molde para poder liberar el envase, pueden termoformar envases que no se podrían con el termoformado convencional. En la imagen 3.4 podemos ver, como la lámina se encuentra bobinada y es llevada por el sistema de arrastre hasta la estación de precalentamiento, cuando se encuentra a la temperatura adecuada pasa por la estación de termoformado que se encuentra abierta en dos partes (la superior y la inferior, por tratarse de un sistema de molde abierto en vertical) cuando la bobina pase entre el molde abierto, éste se cerrara por el accionamiento de la máquina y procede a darle forma al envase, una vez se tenga la forma deseada se procede a desmoldar y continuar con el proceso.

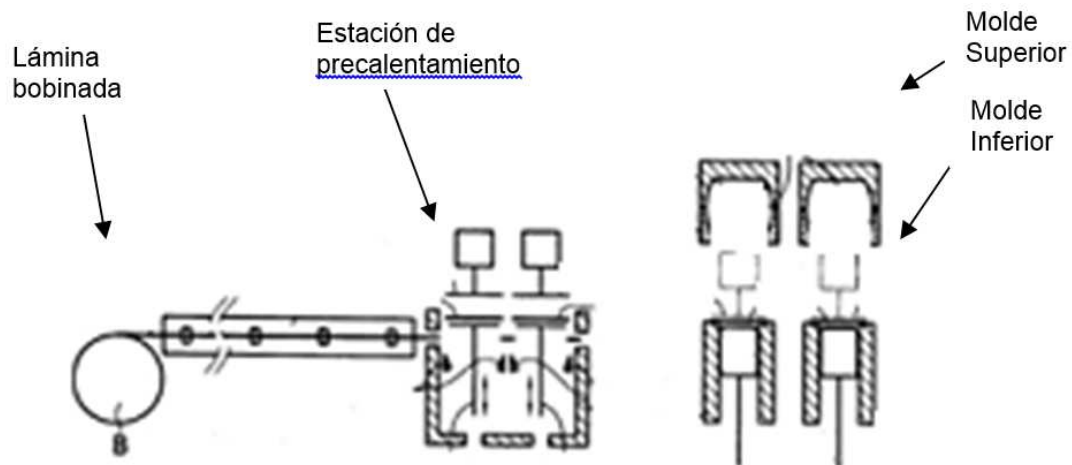


Figura 3.4. Termoformado por apertura vertical del molde<sup>17</sup>.

- b) Termoformado con apertura parcial del molde:** Este tipo de termoformado es usada para fabricar envases que tienen una geometría normal pero con una parte que puede ser saliente por lo cual ha de ser liberada al momento del desmoldeo, y como no es necesario librar todo el envase se abre el molde parcialmente, solo hasta librar la zona que complica el desmoldeo, se dan casos en que el molde se abre parcialmente en más de dos partes, dos a los laterales y una tercera por el frente del molde, además que se requiera poner en el molde guías que introduzcan un “postizo” en el momento del termoformado para que éste dibuje la forma deseada por el cliente.

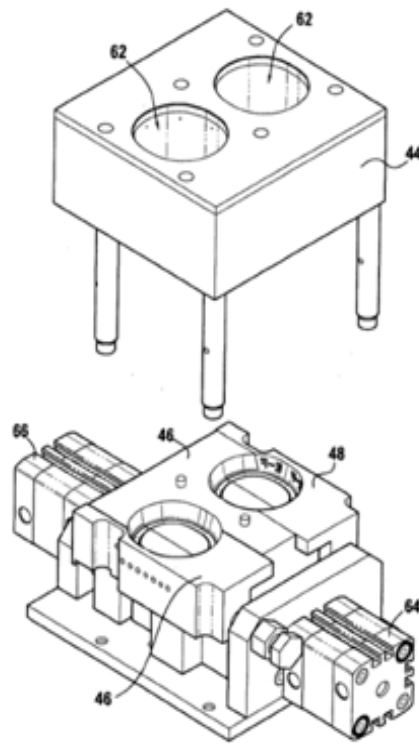


Figura 3.5 Sistema de termoformado a molde abierto de apertura parcial a tres direcciones<sup>18</sup>.

- c) Termoformado con apertura lateral del molde: Este tipo de termoformado será el que utilizemos para lograr la geometría compleja propuesta, extenderemos más sobre este tipo de molde en el capítulo de diseño.

El proceso de termoformado que usa el sistema de apertura de molde para extracción del envase termo conformado nos ofrece la opción de poder lograr esta geometría compleja sin tener la limitación por diseño del conocido ángulo de desmoldeo puesto que para retirar el envase lo que hace el proceso es librarlo mediante la apertura total del molde. Esto nos da la opción de poder tener en el envase una mayor opciones en el perfil o silueta del envase, incluso crear en la superficie del envase distintas texturas puesto que en el desmoldeo ya no influye tanto el coeficiente de rozamiento, puesto que el molde abierto está dividido a la mitad simétricamente por lo que al abrirse libera por ambas partes al envase.

La apertura del envase se realiza mediante sistemas electromecánicos o neumáticos, un ejemplo típico que muestra la bibliografía es la de apertura de molde para el envase cercano de características esféricas en donde de la

base a la zona cercana a la de soldadura del material de tapa tiene la geometría cercana a la esférica y luego vuelve en esta zona de soldadura de tapa vuelve a ensancharse generando un cuello que en condiciones normales de termoformado sería imposible desmoldar. En la Figura 3.6 se puede ver el envase con una geometría que carece de conicidad por lo que en condiciones normales de termoformado sería imposible el desmoldar, por ello el molde propuesto nos da la idea de lo que debemos lograr para poder librar el envase para que continúe con su proceso de dosificado y soldado de tapa.

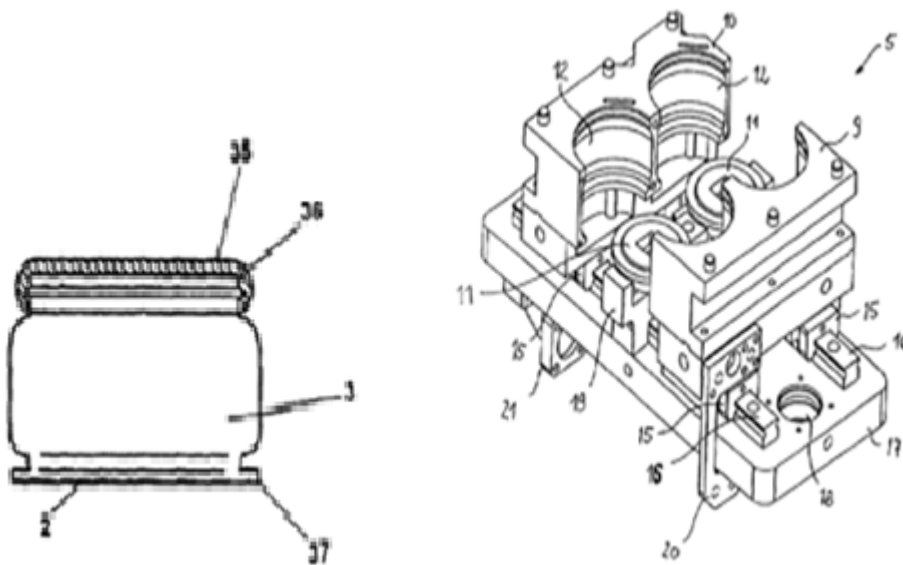


Figura 3.6 Sistema de termoformado con apertura lateral del molde<sup>19</sup>.

## **Capítulo 4:**

# **DISEÑO DEL SISTEMA DE TERMOFORMADO**

#### 4. Diseño del sistema de termoformado para obtener geometrías complejas

Para iniciar el diseño del sistema de termoformado se requiere definir el tipo de envase que deseamos obtener y ello no es una selección definida por los gustos y experiencia del diseñador especialista en packaging pues como sabemos es el mercado el que define la tendencia o la necesidad demandada<sup>21</sup>. Para definir cómo ha de ser el nuevo producto, la empresa JEMA.MC se recurrió a herramientas especializadas usadas en el mundo del marketing como es el método QFD (Quality Function Deployment), Despliegue de la Función de Calidad). Éste es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce, en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfactorias para convertir las demandas del cliente en el diseño del producto final<sup>22</sup>. El diseño resultado de este trabajo ha sido gracias al esfuerzo realizado por un equipo de la Empresa JEMA.MC de la que formé parte, el cual trabajó desde el análisis de la necesidad del cliente hasta desarrollar una máquina y envases prototipo.

En este Capítulo se desarrolla el proceso de diseño de un nuevo envase para lo cual es preciso incidir en el proceso de fabricación. El proceso de termoformado convencional no garantiza la obtención de envases con un diseño de geometría compleja como el que se muestra en la Figura 4.1 y por ello, se ha planteado una mejora del proceso.

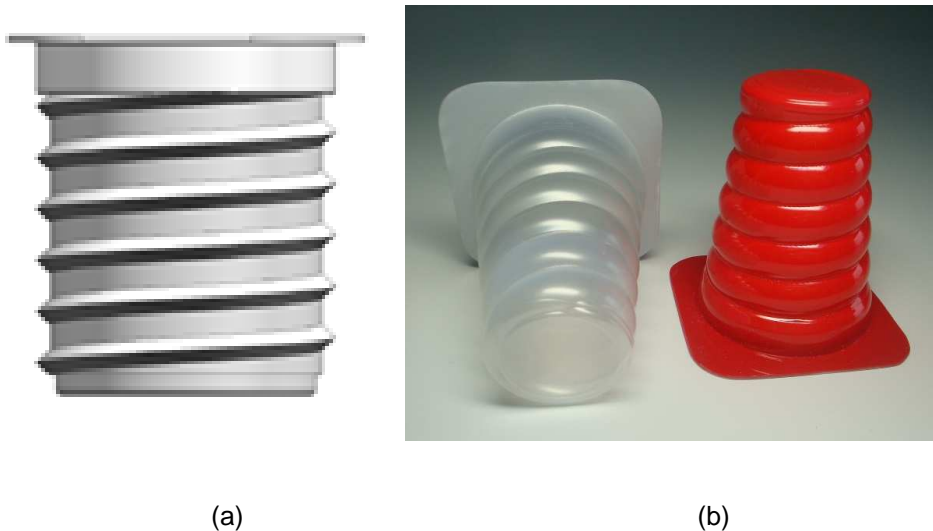


Figura 4.1. a) Diseño de envase de geometría compleja. b) Fotografías de envases obtenidos<sup>15</sup>.



En este Capítulo se presenta el desarrollo de un prototipo de fabricación de un envase primario, como el mostrado en la Figura 4.1

#### 4.1. Selección del material polimérico

Un componente importante para iniciar el diseño es la selección del material polimérico a usar. No queremos limitar el prototipo al empleo de un único material, ya que según la aplicación que se le dé al envase convendría tener una variedad adecuada de materiales con los cuales se pueda trabajar. Para esto se debe prever las variables termo-mecánicas a las que el envase pueda estar sometido durante el proceso de fabricación así como los intervalos de temperatura a usar y las presiones generadas por acción neumática. En cuanto a las características propias del material hay que tener presente que su suministro comercial es en forma laminada, con diversas dimensiones de ancho, longitud y espesor. Los espesores de la lámina comerciales son muy variados aunque las láminas que se adaptan a las características de nuestro envase se clasifican como láminas rígidas con espesores entre 800 y 1200  $\mu\text{m}$ . Estas láminas se bobinan para ser usadas de manera cómoda en el proceso de termoformado. Con respecto al tipo de polímero se ha tenido en cuenta que se pueda fabricar acabados de distinto color pero que pueda tener cierto grado de transparencia. Por todo ello se seleccionó el poliestireno (PS, Polystyrene) pues es un material comercial que reúne estas características y permite conseguir envases con nuestro proceso de termoformado. El poliestireno (PS) es un material muy usado en la industria alimentaria para el envasado de yogures y gelatinas pues con él se pueden lograr envases de colores además de envases traslucidos<sup>7</sup>.

La Figura 4.2 recoge la simbología de este material así como su fórmula química en la que se aprecia la presencia de un grupo aromático y la ausencia de heteroátomos.

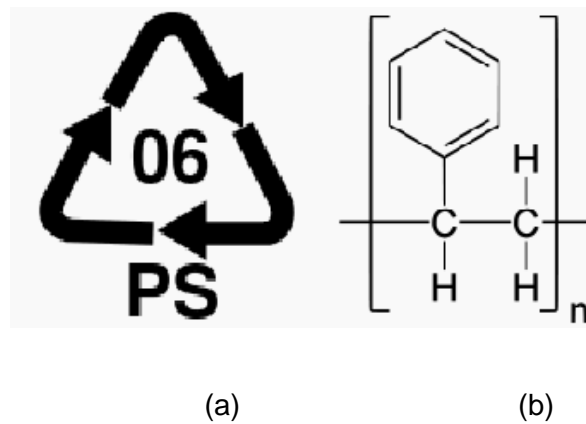


Figura 4.2. a) Representación del poliestireno (PS). b) Unidad de repetición del PS.

Dentro de las características mecánicas del poliestireno merece resaltar que presenta un módulo elástico de 2 Gpa, una dureza 75 unidades shore, una tensión de rotura en tracción de 20 MPa, y una resistencia al impacto sharpy de 5 kJ/m<sup>2</sup> <sup>8</sup>.

La Figura 4.3 recoge una caracterización según el fabricante<sup>9</sup> por calorimetría diferencial de barrido, DSC, de este material que da una idea de su comportamiento térmico. El poliestireno presenta una temperatura de transición vítrea,  $T_g$ , entre 95 °C y 105 °C. Lo que indica que por debajo de esta temperatura el material pasa a estar en estado vítreo y es necesario superarla para que en el estado caucho pueda ser conformado. Por encima de la temperatura de fusión,  $T_m$  el material funde y no puede moldearse por esta técnica de termoformado. Para el caso del PS, la temperatura de fusión es 240 °C. Un ensayo DSC nos permite determinar los intervalos de temperatura que se deben alcanzar en la fase de precalentamiento y la estación de termoformado. Habitualmente se suele operar a una temperatura igual a  $T_g+50-100^{\circ}\text{C}$ , por tanto para este caso, en torno a 150-200 °C como recoge la Tabla 4.1.

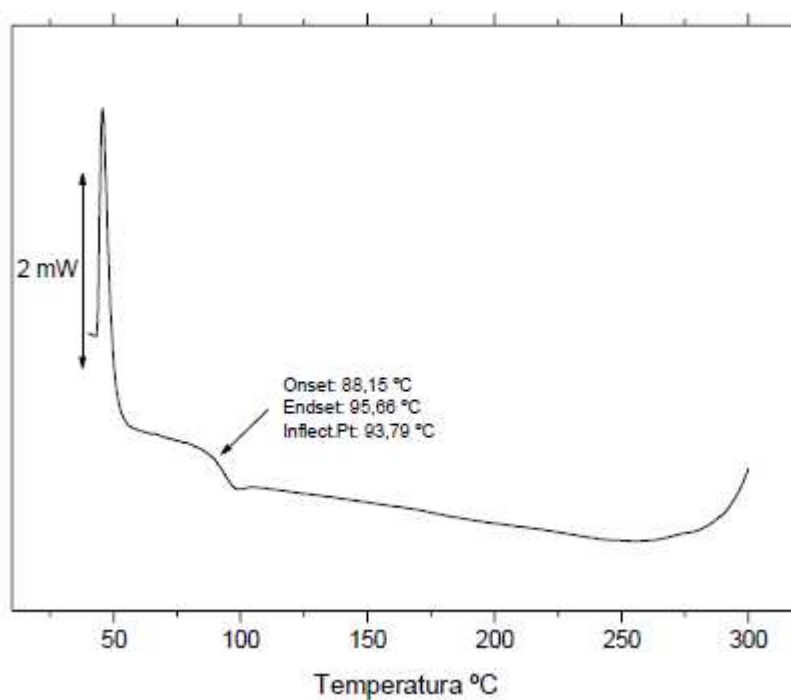


Figura 4.3. Curva calorimétrica DSC del poliestireno suministrada por el fabricante<sup>9</sup>.

Tabla 4.1 Temperaturas de termoformado para materiales poliméricos convencionales <sup>23</sup>.

Polímero	Resistencia del fluido	Estabilidad térmica	Temperatura de operacion (°C)
ABS	E	E	160-200
PVC	B	B	160-200
Acrílicas	B	B	150-195
PC	R	B	195-235
PET	E	B	145-175
LDPE	M/R	E	160-180
HMW/HDPE	R/B	E	160-205
HIPS	E	E	165-200
PPO/PS	E	B	170-205
PP	M	B	170-185
PS	B	B	145-180
PSU	R	E	205-250
PES	R	E	275-370

Respecto a las características de las láminas comerciales hay que tener presente que su disponibilidad en el mercado, presenta una configuración de multicapas, todas ellas de naturaleza polimérica, que han sido fabricadas previamente mediante un proceso de laminado plástico por extrusión.

La estructura multicapa dispone, de forma general, tal y como recoge la Figura 4.3, de:

- Una lámina base, que es la capa con mayor espesor dentro de esta configuración multicapa. Representa el soporte estructural del envase y es la responsable de su estabilidad geométrica. En el presente desarrollo se ha seleccionado como material polimérico, el poliestireno dada sus características mecánicas y propiedades térmicas que se adaptan a los parámetros que se necesitan para lograr el envase deseado<sup>16</sup>, además es muy usado en la industria alimentaria en especial en el envasado de yogures.
- Una capa soldable, diseñada para unirse mediante fusión con el material de tapa que cubrirá el producto después de ser dosificado en el envase termoformado.
- Una lámina pigmentada que define el color del conjunto multilaminar y en consecuencia, define el color que tendrá el envase en su acabado final. Pueden tener hasta tres colores, o simplemente carecer de esta capa y por tratarse de un polímero amorfo tener una presencia transparente.
- Una capa barrera protectora, que evite la permeación de agentes externos que afecten a la conservación del producto. Esta capa está presente en envases de la industria alimentaria.

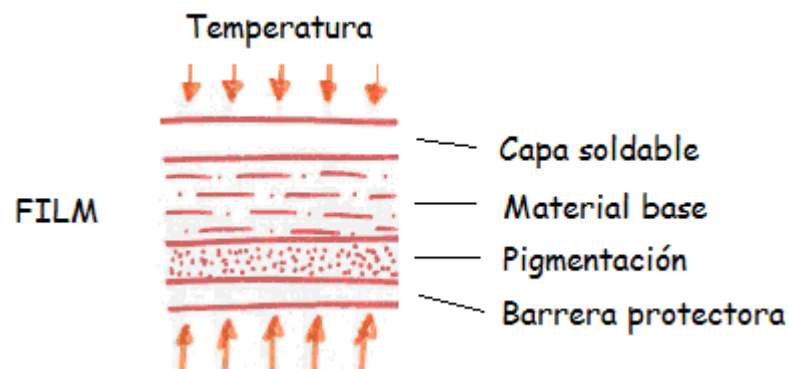


Figura 4.3. Estructura multicapa convencional de una lámina usada en termoformado<sup>15</sup>.

La termoformadora-prototipo requerirá una lámina multicapa de 350 mm de ancho dispuesto en bobinas con un diámetro máximo de 300 mm. A su vez, la lámina debe tener un espesor de 1000  $\mu\text{m}$ .

Las capas soldable y barrera protectora se definirán dependiendo del producto final a envasar, para lo que el intervalo de temperaturas de termoformado que debe procurar el prototipo debe ser lo suficiente amplio para poder trabajar con la variedad de envases presente en el mercado de films rígidos.

La capa de pigmentación puede recoger una paleta de colores amplia aunque los más habituales y que se van a emplear en los envases del prototipo son a dos colores: rojo por la cara externa del envase y blanco por la cara interna. La falta de estas capas dará lugar a envases traslucidos e incluso transparentes, dada la naturaleza amorfa del PS.

#### **4.2. Diseño de la estación de precalentamiento**

La estación de precalentamiento se diseña para que la lámina de poliestireno pueda llegar a una determinada temperatura, presión de contacto, tiempo y uniformidad en el área a precalentar. Todos estos parámetros son importantes para que mecánicamente no exista ninguna limitación en darle la forma al envase. La Figura 4.4 recoge un esquema de los elementos a controlar en un proceso de termoformado en 3 etapas.

La temperatura final a la que debe llegar el film o lámina es de 150-180°C, esto lo determina el rango de temperaturas definidas superior a la  $T_g$  que para este material es 95-105 °C y una temperatura un poco menor a la  $T_m$ , que en el caso del poliestireno es 240 °C. Es importante que el material llegue a la temperatura final de forma paulatina, evitando gradientes de temperatura excesivos asociados a la baja conductividad térmica del material.

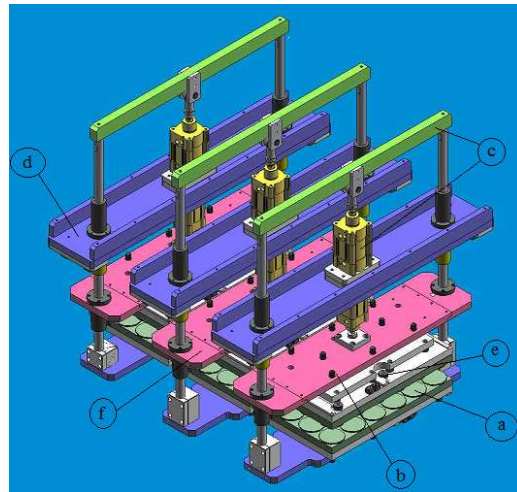


Figura 4.4. Esquema de una estación de termoformado de tres etapas: (a) placa de precalentamiento, (b) sistema de ajuste de presión, (c) mecanismo de elevación, (d) fijación al bastidor, (e) control de temperatura, (f) refrigeración<sup>15</sup>.

Para que una lámina con un espesor promedio de 1000  $\mu\text{m}$  alcance los valores de temperatura apropiados, si el calentamiento es excesivamente rápido, la superficie se puede sobrecalentar e inducir degradaciones térmicas. Por ello, el calentamiento se lleva a cabo de manera paulatina utilizando dos o tres etapas de precalentamiento, siendo en cada etapa la temperatura alcanzada cada vez mayor. A modo de ejemplo, se puede aplicar a la primera etapa 70°C, a la segunda etapa 110°C, y a la tercera etapa 150°C, este sistema por etapas es el más eficiente, puesto que logramos ganar velocidad en los procesos industriales.

La temperatura de este sistema de precalentamiento debe ser controlado de manera que las inercias térmicas generadas por las resistencias eléctricas no pueda afectar al control de las temperaturas máximas permitidas que en este caso es de 150°C, para ello se utiliza controladores de temperatura que posean un sistema de control proporcional integral derivado o conocido por sus siglas PID, es importante mencionar que para evitar la transferencia térmica de la placa de precalentamiento a la estación completa se cuenta con un sistema de refrigeración basado en un circuito de agua en la placa soporte de la etapa de precalentamiento.

Las estaciones de precalentamiento a efectos de prototipos y pruebas pueden tener una sola etapa pero con un sistema de control que pueda lograr el incremento de temperatura de forma paulatina utilizando el control PID.

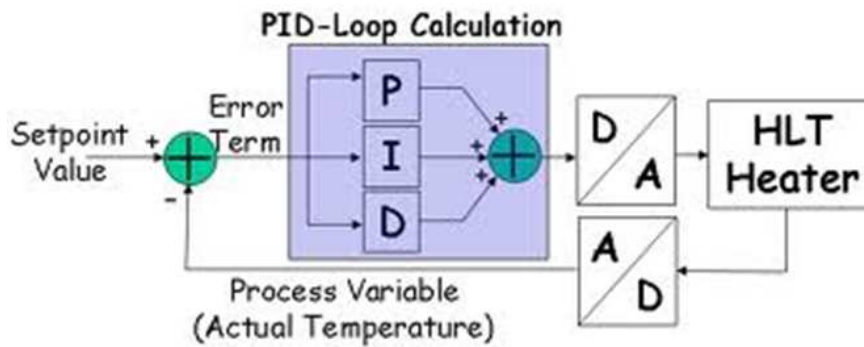


Figura 4.5. Diagrama explicativo del control PID para controlar el “error” en el control de temperaturas<sup>10</sup>.

Para determinar la presión a aplicar en la lámina en esta fase de precalentamiento, se debe considerar las características mecánicas del material a usar, pues una presión excesiva, puede hacer que se quiebre ante la presión aplicada si el material no está debidamente calentado.

En el caso del poliestireno que presenta unos valores de dureza shore y de tensión a la rotura en compresión relativamente altas (75 y mayor de 20 Mpa, respectivamente) no debemos tener problemas de rotura mecánica, pero si problemas por deformaciones no deseadas, por lo que resulta conveniente que la presión de diseño para el cierre de las placas de precalentamiento sobre la lámina sea de 1 a 6 kg/cm<sup>2</sup>. El tiempo estándar que se utiliza en esta etapa también es importante y se establece entre 0,2 a 1,5 s. Para calcular este tiempo y a la temperatura de las placas de precalentamiento, se ha tenido en cuenta la conductividad térmica del poliestireno.

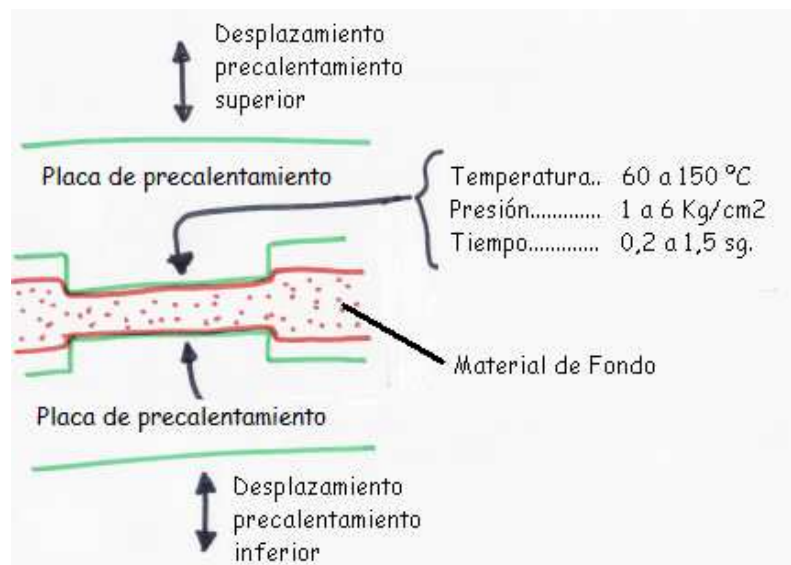


Figura 4.6. Esquema representativo de la temperatura, presión y tiempo aplicados al precalentamiento de la lámina a termoformar<sup>15</sup>.

Al procesar láminas rígidas es necesario precalentar sólo la zona que será termoformada, así se evitan deformaciones y dificultades para después lograr una soldadura perfecta. En las zonas en las que posteriormente el material tendrá contacto con la tapa es preferible que ésta mantenga su estado de lámina rígida. Además, al calentar sólo la zona a termoformar, se evitan atascos en la máquina por descolgamientos u otras complicaciones asociadas. Por ello para lograr precalentar sólo en las zonas de termoformado se diseña la placa de precalentamiento en forma lobular (Figura 4.7), con la geometría que tendrá el envase desde la vista superior en este caso de forma circular.

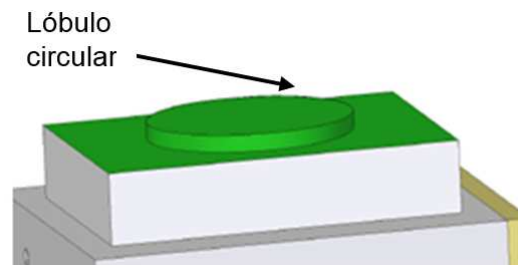


Figura 4.7. Lobulo teflonado de forma circular de una placa de precalentamiento.



Esta placa debe tener un recubrimiento de PTFE o teflón para evitar que el polímero se adhiera a la placa cuando alcancen el contacto.

#### **4.3. Diseño de la estación de termoformado**

Esta estación es el corazón de todo el proceso de termoformado, pues en ella es donde se da forma a la geometría del envase que en este caso es una geometría compleja. Esta estación viene a continuación de la estación de precalentamiento situada a una distancia exacta llamada paso de avance que es la que sincroniza la zona calentada en la lámina con la zona del termoformado del envase. Al tratarse de un envase no convencional se utilizará un conjunto de termoformado también diseñado para este caso. El sistema de pistonaje o punzonado así como el grupo de elevación del molde de termoformado, están controlados de forma conjunta de manera que se pueda transformar la lámina precalentada en un envase con la geometría que define el molde.

Al tratarse de una geometría nada convencional que se obtiene de una lámina rígida de mucho espesor, 1000  $\mu\text{m}$ , se requiere un proceso más completo, es decir en donde incluya todos los componentes necesarios para asegurar la obtención del envase final. Para ello además de los tres componentes antes mencionados es conveniente realizar un ingreso de aire a presión por la zona de la campana del grupo de pistonaje, fase llamada soplado, además de aplicar vacío en el molde de termoformado. Ambas acciones están sincronizadas en el proceso. A continuación explicaré las fases que ocurren en la estación de termoformado que se ilustran en la Figura 4.8:

- Fase a: Después de ser precalentada la lámina, es llevada por el sistema de arrastre hasta la estación de termoformado, posicionándose de manera exacta la parte precalentada con el molde de termoformado.
- Fase b y c: Una vez ubicada la lámina por encima del molde, éste es llevado mediante el grupo de elevación hacia arriba, hasta tocar y hacer presión en la lámina para que el molde cierre herméticamente con la lámina y la campana superior.
- Fase d: una vez cerrada herméticamente casi en simultáneo el pistón o punzón inicia su movimiento hacia abajo, desplazando mecánicamente la lámina precalentada hacia el interior de la cavidad del molde. Este desplazamiento debe ser

controlado en aceleración, desaceleración, velocidad y distancia, para que pueda cumplir su función de distribuir lo más uniforme posible el espesor de la lámina en el envase final. Además los parámetros del punzón y los puntos de control son utilizados para dar inicio a otras fases que intervienen en el proceso.

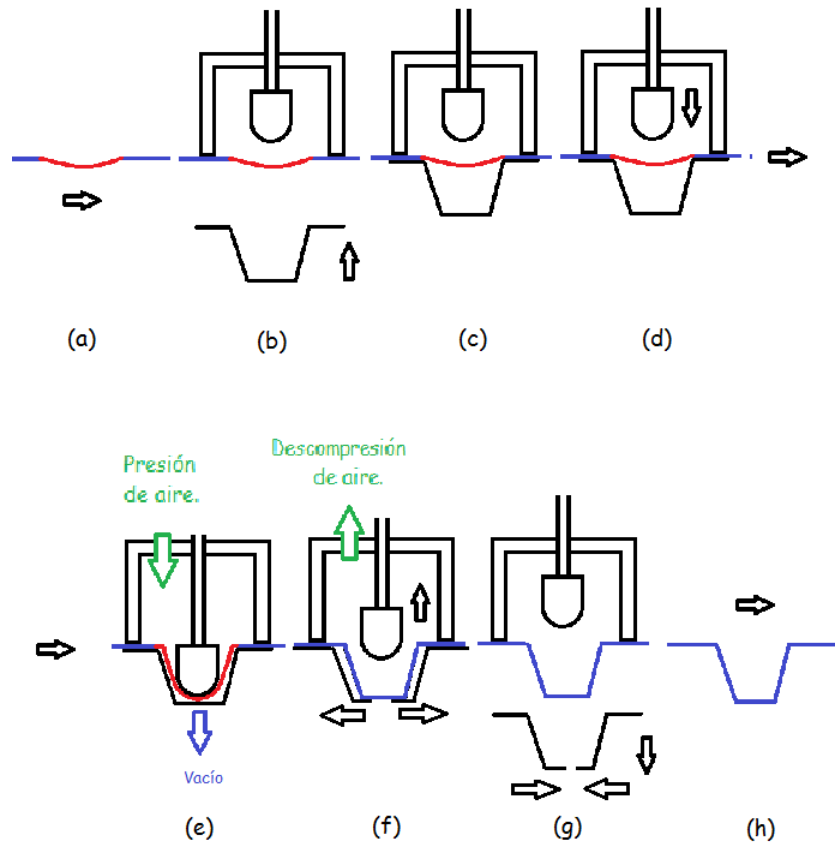


Figura 4.8. Esquema de las fases requeridas en la estación de termoformado<sup>15</sup>.

- Fase e: Antes que el punzón llegue al final de su recorrido, se inicia la secuencia de soplado, en la cual se inyecta un determinado volumen de aire a una determinada presión, y casi en simultáneo se ejerce vacío en el molde de termoformado. Tanto la presión del soplado como la de vacío tienen por finalidad la de adherir totalmente la lámina en el molde y lograr un envase final con la forma definida.
- Fase f: en este punto el envase se ha enfriado lo suficiente como para que se mantenga la forma definida por el molde. Para ello, el molde puede disponer de un circuito de refrigeración con un fluido entre 5 y 10 °C. En el momento en que termina

el proceso de soplado y vacío, el punzón retorna hacia arriba hasta su posición inicial de reposo, y finalmente se abre el molde hacia los lados liberando el envase recién termoformado.

- Fase g: Una vez liberado el envase, el molde abierto es desplazado hacia abajo por acción del grupo de elevación, mientras grupo baja también se va cerrando, para que cuando llegue al punto más bajo deje lista toda la estación para un siguiente ciclo de termoformado.

Una vez conocidas de cerca las fases de la estación de termoformado pasaré a explicar el diseño de las partes importantes de esta estación.

#### 4.3.1. Molde de termoformado

El molde de termoformado define la geometría final del envase, por lo que es determinante en su fabricación tener un acabado perfecto. En nuestro caso se le ha dado una geometría diferente a las comerciales por lo que se debe tener muy en cuenta un mecanizado óptimo. Como se ha mencionado anteriormente, este molde para liberar el envase (desmoldeo del envase) debe abrirse, dejando el envase sin ningún contacto con el molde antes de bajar. Aunque el principio de funcionamiento parece sencillo, la complejidad radica en que se quiere operar en un proceso continuo. Una de las partes innovadoras de este proyecto reside precisamente en la implementación de un sistema de apertura automático que satisfaga la necesidad de la industria para lograr este tipo de envases de geometría compleja.

El sistema diseñado para abrir y cerrar los moldes de termoformado, consta de un motor servo-controlado que está conectado mecánicamente a un plato ovalado mediante un husillo y cremallera. Este plato actúa como un sistema de levas al llevar un mecanismo acoplado al mismo molde de termoformado lo que logra abrir y cerrar el molde de manera sincronizada a las fases del proceso. Este mecanismo es el que une el molde de termoformado con el grupo de elevación, formando un conjunto nuevo al que llamamos termoformado de molde abierto servo-controlado.

La Figura 4.9 muestra el esquema de un molde de este tipo.

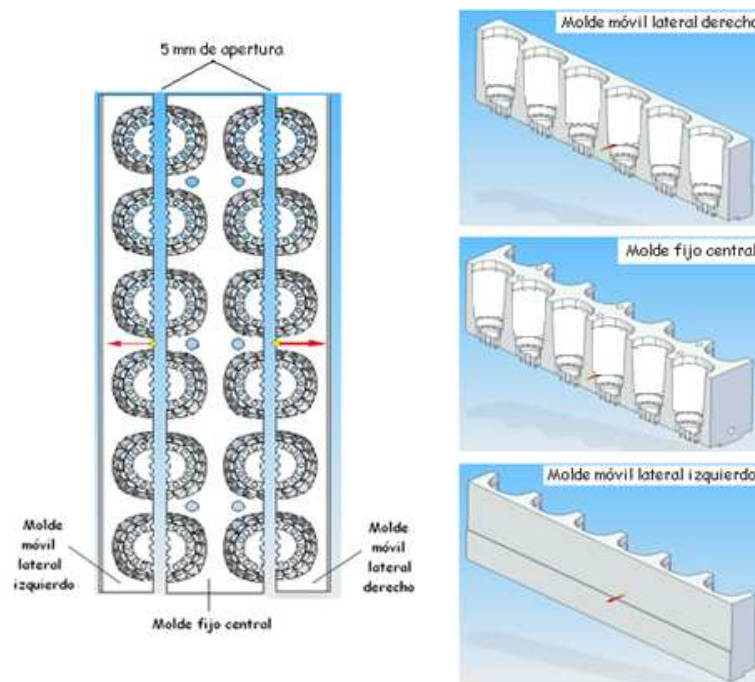


Figura 4.9. Diseño de un molde de tipo abierto de 12 envases por ciclo<sup>20</sup>.

El mecanismo usado para abrir y cerrar el molde es sencillo, consta de un motor que desplaza una cremallera que a su vez hace girar un plato ovalado, este plato ovalado mediante bulones guía y un mecanismo especial logra que molde de termoformado se abra y cierre.

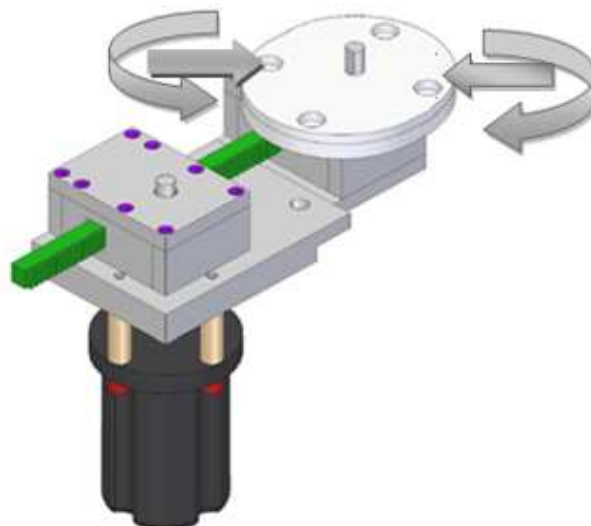


Figura 4.10. Diseño del sistema de apertura por plato para molde de termoformado<sup>15</sup>.

#### 4.3.2. Grupo de pistonaje

Este componente de la estación de termoformado se utiliza cuando la profundidad del envase es alta y deseamos una distribución uniforme de la lámina en el envase final. Esto está relacionada con la fricción que ejerce el pistón sobre la lámina de polímero, arrastrando parte de éste hacia la base del molde. Factores como el material de construcción del pistón (PTFE), el material de la lámina (PS), la presión de contacto y/o la velocidad de deformación tienen consecuencias sobre la uniformidad del espesor<sup>16</sup>. En nuestro caso, los pistones son de teflón (PTFE) que presenta un coeficiente de rozamiento muy bajo, menor de 0,1.

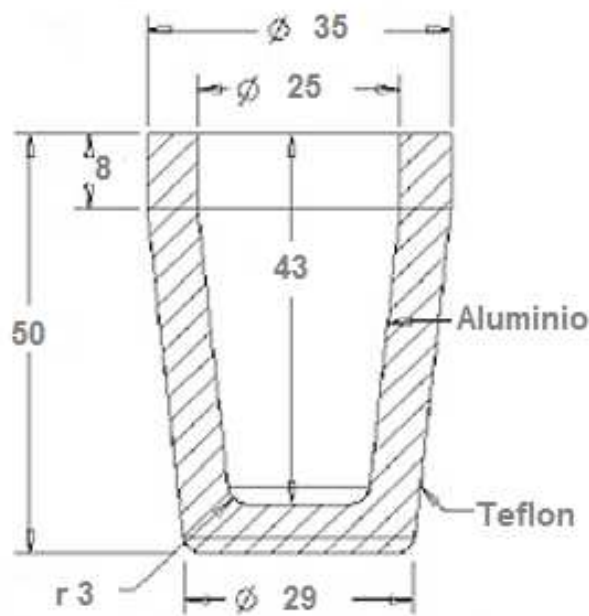


Figura 4.11. Dimensiones del punzón usado en el sistema de pistonaje.

#### 4.4. Condiciones de diseño

Las condiciones iniciales de diseño que consideró el equipo de la empresa JEMA.MC fueron las siguientes:

- Condiciones operativas y técnicas: se requiere una fácil operación de la máquina con instrucciones y acciones que sean interactivas e intuitivas, activadas mediante

una pantalla táctil de fácil manejo. Respecto al mantenimiento, debe tener un fácil acceso a los componentes que requieran un mantenimiento de manera periódica como pueden ser la limpieza de moldes, engrasado de guías y sistema de arrastre.

- De ser necesario cambiar alguna pieza se pensaron planos de fácil interpretación y componentes de montaje accesibles
  - De darse el caso de modificación o adecuación de alguno de los sistemas debe contar con los estándares en piezas y conexiones para poder lograr una rápida modificación, por ejemplo, si se desea un nuevo formato de envase.
- Condiciones de seguridad: se ha diseñado un sistema de seguridad independiente del control de la máquina mediante un sistema de emergencias y seguridades en los accesos a cualquier parte móvil que pueda causar daños personales cumpliendo con la normativa del marcaje CE.
- Condiciones medioambientales: al considerar que el producto de esta máquina será un envase que contiene alimentos aptos para el consumo humano se seleccionan los elementos materiales y componentes de la máquina que cumplan con la normativa, por ejemplo aceros inoxidables, sistemas de lubricación de grado alimentario. En lo que respecta a la lámina utilizada, el proveedor de ésta deberá garantizar que se trata de un producto reciclable.

## **Capítulo 5:**

# **PROTOTIPO DE MÁQUINA DE TERMOFORMADO**

## **5. Prototipo del sistema de termoformado de geometrías complejas**

El prototipo diseñado y construido por la empresa JEMA.MC se usa para la investigación, pruebas, nuevos desarrollos y diseños. Hasta el momento se han registrado 15 patentes de diseño en lo que respecta al área del packaging. Mi participación, en esta empresa, fue como participante en un grupo de investigación, fruto de ello fue el diseño de este nuevo sistema servocontrolado de apertura de molde de termoformado, así como la adaptación y ajuste del prototipo para poder lograr el envase termoformado de geometría compleja.

### **5.1. Prototipo de máquina de termoformado**

Esta máquina prototipo se diseñó pensada para realizar distintas pruebas y desarrollar nuevos envases. También está diseñada para poder añadir nuevos mecanismos desarrollados para la mejora del proceso de termoformado. La construcción de la máquina está hecha con materiales aptos para el uso en la industria alimentaria.

Actualmente, esta máquina prototipo que se esquematiza en la Figura 5.1 cuenta con los siguientes componentes:

- Para el sistema de control y mando cuenta con una pantalla táctil con el programa diseñado para trabajar de manera intuitiva (1), posee un cuadro eléctrico y neumático integrado (2).
- Tiene un diseño sencillo de bastidor en que se realiza un montaje rápido de las distintas estaciones de trabajo que se quieran poner a prueba (3). Además este bastidor está adaptado junto al sistema de arrastre para poder trabajar con láminas de distintos formatos, desde 70 a 300 mm de ancho.
- Un sistema de arrastre que reduce los residuos de la lámina polimérica hasta un 25% de los residuos que genera una máquina convencional (4).
- Cuenta con una estación de precalentamiento de un amplio rango de temperaturas de funcionamiento para poder trabajar con distintos materiales poliméricos (5).



- Tiene una estación de termoformado: con su grupo de elevación, porta-moldes, sistemas de vacío y soplado, campana superior, grupo de pistonaje y todos sus controles (6).

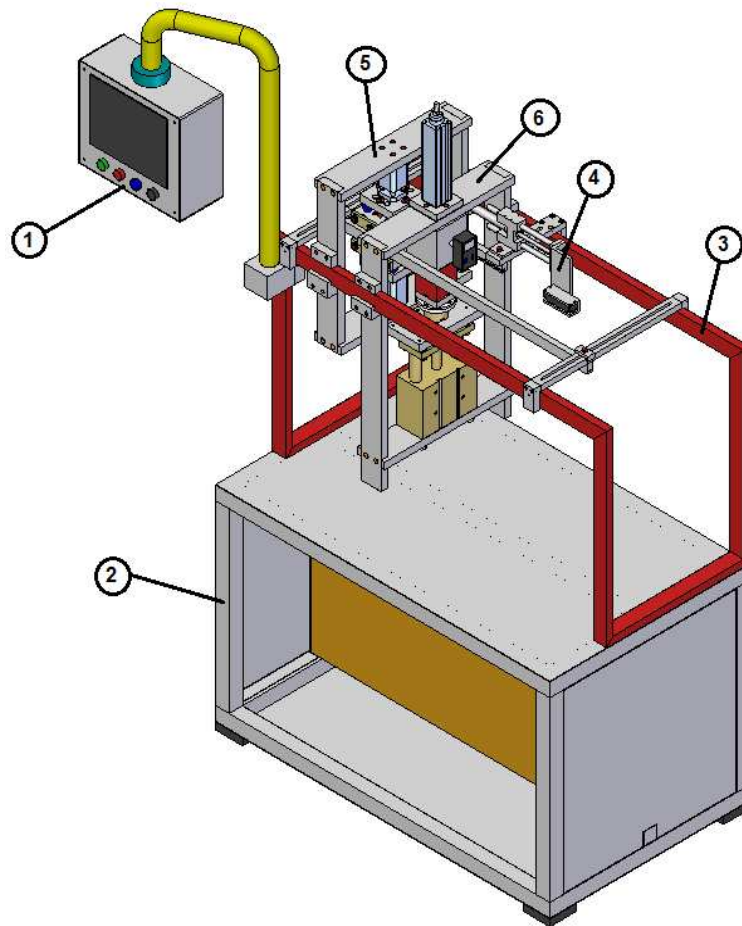


Figura 5.1. Prototipo de máquina de termoformado<sup>15</sup>.

#### 5.1.1 Estación de precalentamiento

Del prototipo describiré sólo las partes que intervienen directamente en la obtención del envase termoformado de geometría compleja.

La estación de precalentamiento está enfocada para la realización de pruebas, está diseñada y construida para termoformar solo un envase.

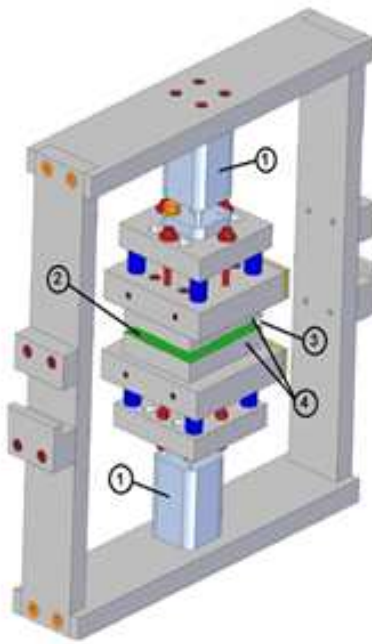


Figura 5.2. Estación de precalentamiento formato 70x70 mm para un envase.

Esta estación de precalentamiento (Figura 5.2) tiene una estructura de soporte de aluminio anodizado que se fija al bastidor de la máquina mediante dos sujeciones rápidas ubicadas a cada lado de la estación. Esta estructura puede usarse para varios formatos. Para esta prueba cuenta con dos conjuntos de precalentamientos dispuestos en posición vertical uno opuesto al otro, a los que se denomina precalentamiento superior y precalentamiento inferior.

El formato de prueba es para un envase en 70 x 70 mm con unos lóbulos de 50 mm de diámetro en las placas de precalentamiento④. En la Figura 2.4 se puede observar en estas placas, también el recubrimiento de teflón en verde ② usado para que no se adhiera la lámina de poliestireno que se usa en las pruebas. Estas placas dejan un espacio entre ellas de 7,5 mm ③ para que pueda pasar por ella el film al momento de ser desplazada por el sistema de arrastre. Para transferir el calor al material polimérico es necesario que las dos placas lleguen a tocar la lámina ejerciendo una presión entre ellas que puede ir desde 1 a 6 kg/cm<sup>2</sup>. De acuerdo al diseño visto en el capítulo anterior, este movimiento y presión ejercida por estas placas es transmitida por los pistones neumáticos ①.

### 5.1.2. Control de la estación de precalentamiento

Las placas de precalentamiento están atornilladas a la placa de resistencias eléctricas. Estas resistencias están controladas de manera independiente, mediante el control de temperatura de dos sensores ubicados en las zonas donde el control de la transferencia térmica a la lámina de poliestireno se considera más crítico.

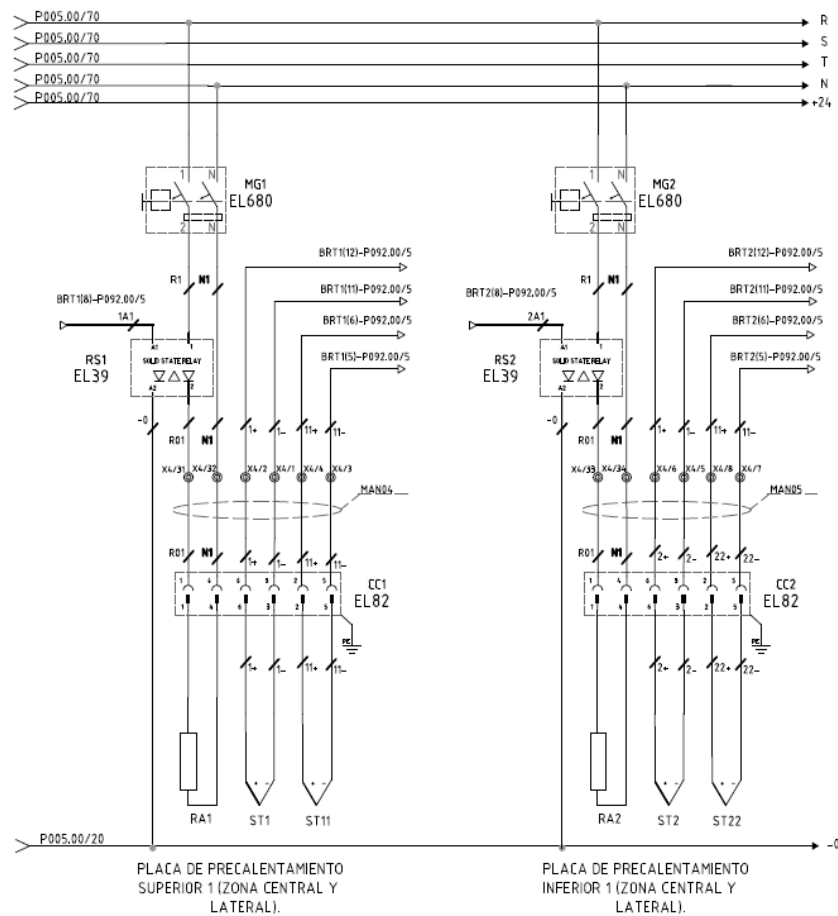


Figura 5.3. Esquema eléctrico de las resistencias y sensores de temperatura de las placas de precalentamiento superior e inferior.

### 5.1.3. Estación de termoformado

La estación de termoformado fabricada para este prototipo cumple con los principios de diseño que podría tener una máquina a escala industrial, teniendo todos los

componentes y sistemas de control para poder termoformar envases de geometría compleja.

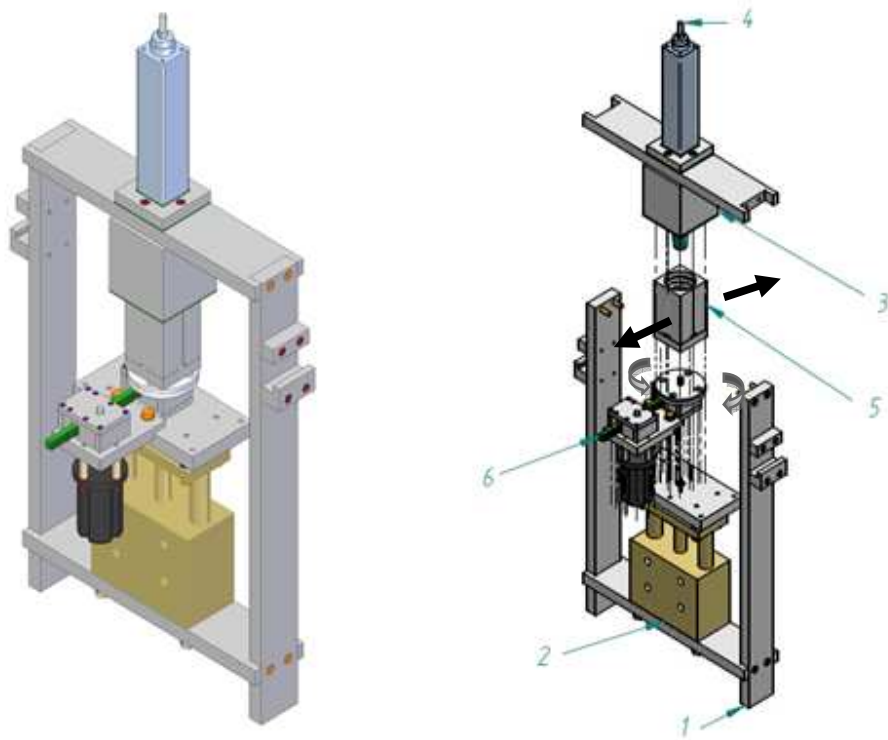


Figura 5.4. Estación de termoformado con sistema de apertura de molde servocontrolado.

La estación de termoformado, tal y como se esquematiza en la Figura 5.4, tiene como soporte una estructura de aluminio anodizado que está unida al bastidor de la máquina por de dos sujeciones rápidas ubicadas una a cada lado de la estructura (1). El grupo de elevación consta de un cilindro neumático que está acoplado al mecanismo de apertura de molde (2). El mecanismo de apertura del molde está en contacto con el molde y mediante un sistema de levas logra convertir el movimiento circular, en un movimiento longitudinal - transversal para poder abrir el molde (6). El molde de termoformado abierto está mecanizado de forma que al cerrarse se quede hermético y así la acción del vacío y la presión de soplado sean máximas y controladas (5). El sistema de pistonaje consta de un punzón que desciende de manera controlada desde la campana de termoformado hasta casi el fondo del envase (3). Este punzón es accionado por un

cilindro neumático (4). A continuación describiremos los grupos más importantes de la estación de termoformado<sup>20</sup>.

a) Grupo de elevación: esta parte de la estación de termoformado está ajustada para elevar el molde y el mecanismo de apertura del molde, de manera controlada en lo que respecta a las variables de desplazamiento vertical como aceleración, desaceleración y velocidad. Esto se logra al integrar en el diseño neumático reguladores de caudal y presión de aire, válvulas de escape rápido para la liberación instantánea del aire que mantiene el circuito, y un pulmón de aire en la entrada de la de máquina. Este pulmón garantiza una estabilidad de flujo y presión de aire en el circuito neumático del prototipo. Con todos estos componentes instalados y ajustados de manera correcta se logra el control deseado del grupo de elevación de la estación de termoformado.



Figura 5.5. Sistema usado para controlar neumáticamente la velocidad, aceleración y desaceleración del cilindro neumático.

Para ajustar la posición vertical del grupo de elevación se utilizan detectores magnéticos tal y como se aprecia en la Figura 5.6. La posición que definen estos detectores es la de confirmación de los grupos de elevación en zona inferior, en zona superior así como el de desplazamiento del grupo de elevación. Esta última señal es la que da inicio a las siguientes fases del proceso en la etapa de termoformado.

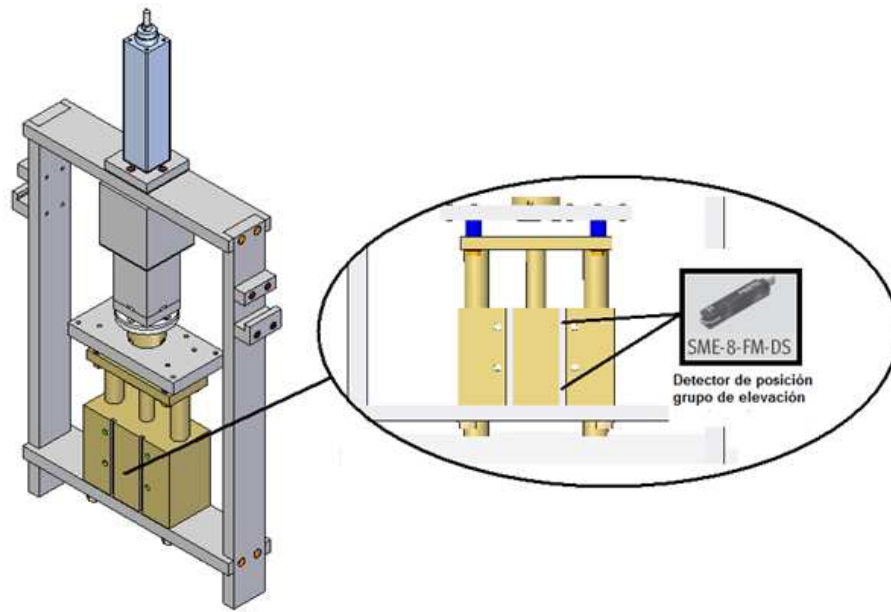


Figura 5.6. sistema de detección de posición del grupo de elevación mediante detectores magnéticos.

- b) Molde de termoformado y sistema de apertura del molde:** El molde de termoformado usado en este prototipo está mecanizado para que termoforme un solo envase. El molde se abre sagitalmente y posee un ajuste capaz de lograr un cierre totalmente hermético. También se debe lograr una hermeticidad entre la parte superior del molde ya cerrado con la campana de termoformado ubicada en la parte superior. Ésta es una condición importante para lograr una geometría final definida. También es importante la temperatura a la que debe mantenerse el molde, entre 5 y 10 °C. Esta temperatura se logra con un circuito enfriado por agua que circula por el molde. Es importante recalcar lo importante que resulta el control de esta parte del proceso, ya que la variación de alguno de los parámetros como temperatura, velocidad o presión, podría condicionar el acabado final del envase.

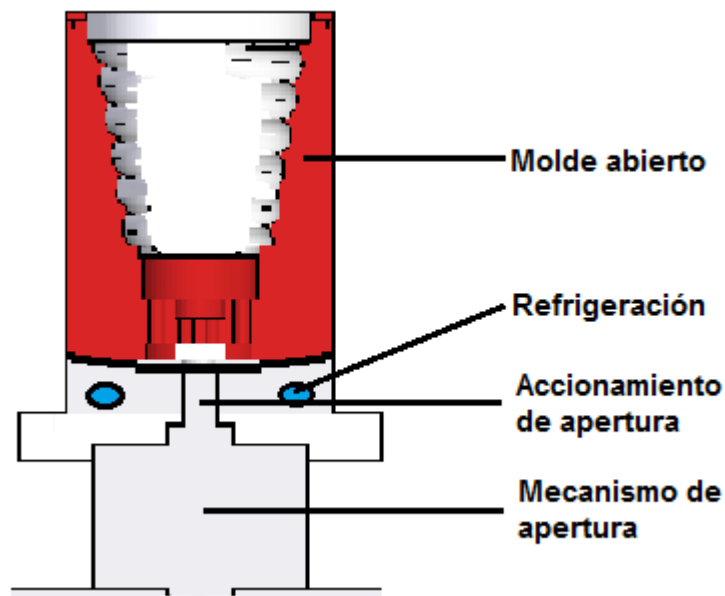


Figura 5.7. Esquema del molde de termoformado abierto por accionamiento servocontrolado.

El sistema que se usa para la apertura del molde consta de un mecanismo de cremallera que es movida longitudinalmente por el piñón que está en el eje de un servomotor con reductora. Esta cremallera engrana con un piñón que hace girar un eje de  $90^\circ$  en ambos sentidos de manera alternativa. Este mecanismo acopla el molde de termoformado mediante un sistema compuesto de un plato con bulones que son guiados en la base del molde de termoformado para lograr convertir el giro del plato en la separación o apertura del molde. En este prototipo la distancia de apertura es de 5 mm, distancia suficiente para poder lograr el desmoldeo del envase termoformado.

El control del servomotor lo realiza un servocontrolador que se programa para que nos dé con precisión las distancias requeridas de apertura del molde, además al momento de cerrar el molde herméticamente se logra un bloqueo mediante el frenado del sistema servocontrolado. Aunque el sistema de trabajo parece sencillo debo destacar que el ensamblarlo en el conjunto del proceso no es tarea fácil puesto que la sincronización y control de la máquina se vuelve complejo al incluir sistemas de este tipo.

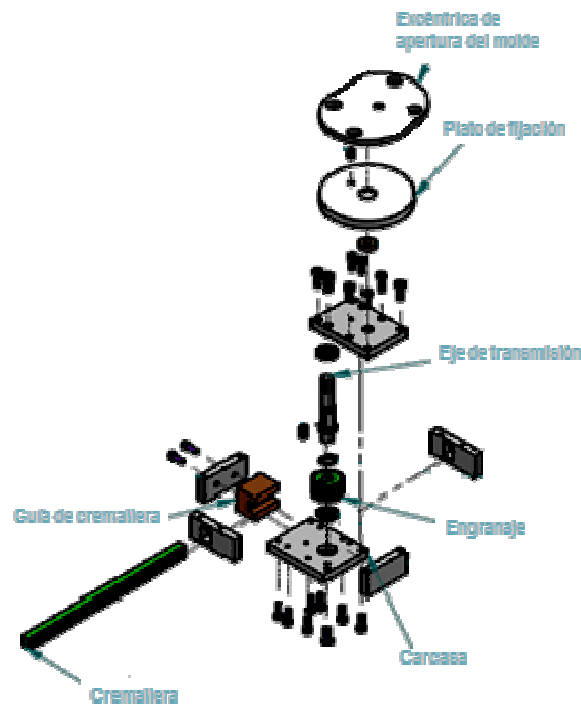


Figura 5.8. Despiece del mecanismo de apertura de molde abierto.

- c) Sistema de pistonaje, fase de soplado y vacío: el punzón fabricado en teflón (PTFE) por su bajo coeficiente de rozamiento, cumple un papel importante para la distribución homogénea del espesor del film en la geometría final del envase. En esta máquina prototipo se realizan los montajes correspondientes para poder controlar las variables de aceleración, velocidad y desaceleración del desplazamiento vertical de los punzones, además de contar con dos sensores magnéticos para verificar la posición en sus estados de pistón arriba y la posición de inicio de soplado y vacío.



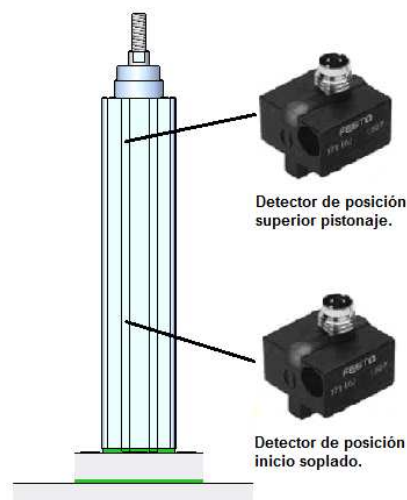


Figura 5.9. Posición de los detectores en el cilindro neumático de pistonaje.

El detector de inicio de soplado, que está en el cilindro neumático del pistonaje, es el que da el punto de partida, para activar la válvula de soplado que terminará de “empujar” la lámina hacia las paredes del molde. Para poder obtener la geometría compleja que deseamos también tenemos que contar con la succión por vacío de la lámina precalentada y esto se hace desde el mismo molde de termoformado. Esta fase de vacío debe entrar poco después que el soplado, casi en simultáneo. En el caso de este prototipo, se ha realizado el programa de control para que el vacío se active centésimas de segundo después de activarse el soplado.

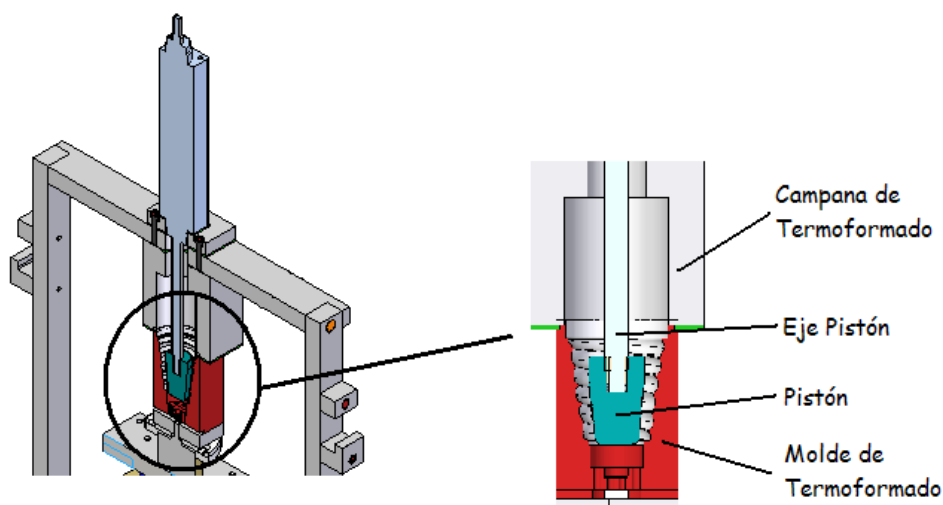


Figura 5.10. Vista en sección del sistema de pistonaje.

La presión de soplado la controla un regulador de presión ajustado a 3 bar de presión con un caudal de aire máximo. El soplado es activado por una electroválvula que dispone de un diámetro de entrada de 12 mm. De igual forma, se dispone de vacío con el caudal máximo que puede generar una bomba.

## **Capítulo 6**

# **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

## 6. Resultados y conclusiones

### 6.1 Resultados

Los resultados obtenidos con respecto a la máquina de termoformado prototipo se califican como aceptables y buenos al tener una máquina fácil de operar, los parámetros de funcionamiento en régimen de trabajo se tienen controlados para poder lograr el envase en las condiciones que deseamos.

Respecto al envase, podemos decir, que visualmente es atractivo y se diferencia claramente de los existentes en el mercado, tiene un color uniforme de lo que se puede deducir una correcta distribución de material en toda su geometría. Para comprobar esta correcta distribución se realizó una medición de los espesores en distintos puntos del envase dándonos en la zona más delgada 90  $\mu\text{m}$  (para una lámina de 1000  $\mu\text{m}$  de espesor), lo que es aceptable dado la profundidad del envase, 64 mm de alto con una capacidad volumétrica de 85  $\text{cm}^3$ . La medición de espesores y dimensiones lo podemos ver en la Figura 6.1, tenemos que resaltar en especial la geometría que se ha podido lograr, una geometría compleja imposible de obtener en condiciones normales de termoformado,

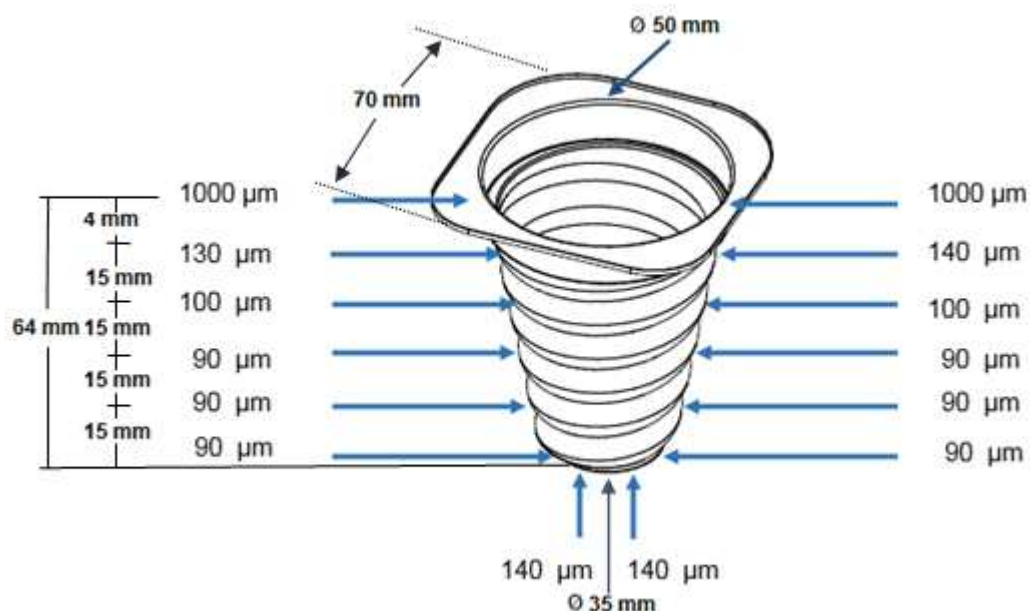


Figura 6.1 Dimensiones y distribución de espesores a lo largo del envase.

Para analizar el producto final de este prototipo de máquina de termoformado se tomaron en fechas distintas 10 envases para pruebas a los cuales se les midió los espesores obteniendo un promedio aceptable que está representado en la Figura 6.2. De estos resultados podemos concluir que es técnicamente posible obtener un envase que dimensionalmente satisfaga las exigencias del mercado tanto en capacidad como en homogeneidad de proceso y espesores que puedan soportar las exigencias físicas del envasado.

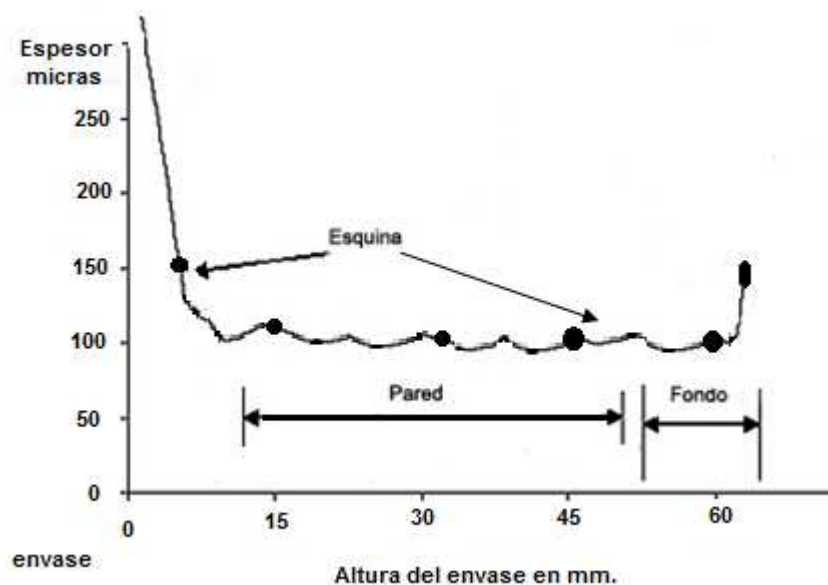


Figura 6.2 Promedio de distribución de espesores tomados a diez envases termoformados en distintas fechas.

Se han realizado pruebas físicas básicas al envase así termoformado. De esta manera se puede observar que el material polimérico (poliestireno) mantiene sus propiedades básicas después de pasar por este proceso termo-mecánico de convertir una lámina a un envase de geometría compleja, alterando su geometría radicalmente. Las pruebas básicas realizadas fueron flotabilidad, observando como el envase queda suspendido sobre el agua sin llegar a hundirse; la prueba de rotura por rasgado se encontró que mantenía las características iguales antes y después del proceso de termoformado; También se sometió al envase a una prueba de combustión, ardiendo con una llama amarilla característica desprendiendo hollín junto con el humo<sup>15</sup>.

## **6.2. Conclusiones.**

Conociendo los resultados obtenidos puedo concluir que he alcanzado los objetivos propuestos en este trabajo fin de Master, tal como lo describo a continuación:

- Las propuestas descritas para mejorar los procesos de termoformado ya existentes, han logrado optimizar la materia prima usada para obtener un envase que con métodos convencionales no podríamos lograr. El resultado se observa en la geometría del envase obtenido en el prototipo de la máquina de termoformado. Este prototipo se logra uniendo los principios básicos del proceso de termoformado más una serie de mecanismos, automatismos y mejora en el proceso (en la estación de termoformado propiamente dicha), tal como se describe en el sistema servocontrolado de apertura de molde. Con la suma de todo esto se ha logrado obtener este envase de geometría compleja que considero cumple con el primer objetivo propuesto de mejorar el proceso de termoformado.
- El segundo objetivo que propuse fue colaborar difundiendo la información técnica sobre opciones de mejora del proceso de termoformado y aunque parte de la información por motivos de confidencialidad de momento no se me permite difundirla en su totalidad, lo expuesto en este trabajo servirá para poder lograr los mismos resultados que considero será un aporte de interés para la ingeniería de los materiales y fabricación.

# **BIBLIOGRAFÍA**

- (1) Revista Alabrent, Julio del 2009. [https:// codigovisual.wordpress.com /2009/07/06.](https://codigovisual.wordpress.com/2009/07/06/)
- (2) Barrier Materials for Rigid packaging 2013-2017. Tecnología del plástico, abril 2013.
- (3) Revista Tecnología del Plástico 2013.
- (4) Estimaciones realizadas por la empresa JEMA, 2011.
- (5) Análisis de mercado realizado por la empresa JEMA, 2010.
- (6) Informe de la revista Interempresas, 2014.
- (7) Francisco J. Parres García, "Investigación de las variables limitantes en la recuperación de residuos de poliestireno procedentes del sector envase". Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. Universidad Politécnica de Valencia.
- (8) Michel Biron, Propriétés des thermoplastiques, 1998.
- (9) Datos de la empresa petrolera y derivados BP.
- (10) Diagram PID rocatek: [http://www.rocatek.com/forum\\_lazos\\_control.php](http://www.rocatek.com/forum_lazos_control.php).
- (11) Ulma Packaging: <http://www.ulmapackaging.com/maquinas-de-ensado /termoformado>.
- (12) OYSTAR-Erca : <https://www.imadairyfood.com/cup-filling/forming-filling-sealing/oystar-m-ffs-14.html>.
- (13) Evolución del packaging: <https://alfredovela.files.wordpress.com/2013/08/>.
- (14) Termoformadoras de última generación, Multivack: <http://mues.multivac.com/productos/termoformadoras.html>.
- (15) Base de datos en información e imágenes de la Empresa JEMA.MC, expuestos solo los datos que no se consideran confidenciales.



- (16) S. Poller, W. Michaeli, Film temperatures determine the wall thickness of thermoformed parts, SPÉs ANTEC conference proceedings 104-108 (1992).
- (17) Cooper Timothy, Moreau Frédéric, Schwab Dominique – Procedimiento y dispositivo de fabricación de recipientes mediante termoformado / Erca / Invenes – Francia – 2014.
- (18) Luc, Michel Maurice – Procedimiento e instalación de termoformado / Erca / Invenes – Francia – 2015.
- (19) Kourtoglou Dimitrios, Kourtoglou Ionnis – Method and device for producing packing containers from plastics, packing machine and packing container / Espacenet - Grecia- 1998.
- (20) Moisés Espinoza, Diseño de envases termoformados para la industria alimentaria, 2012.
- (21) W. E. Eder (Ed), Proceedings of the Workshop EDC, Engineering Design and Creativity, 1996.
- (22) Joaquim Lloveras, Creatividad en el diseño conceptual de ingeniería de producto. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. España, 2007.
- (23) I. I. Rubin, Handbook of Plastics Materials and Technology, John Wiley & Sons 1990.